

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Návrh koncepce elektrické trakční jednotky

Design of electric traction units conception

Student:

Bc. Petr Černušek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Černušek**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **10 Kolejová doprava**
Téma: **Návrh koncepce elektrické trakční jednotky**
Design of Electric Traction Units Conception

Zásady pro vypracování:

1. Definice požadavků na elektrickou trakční jednotku
2. Návrh kritérií hodnocení elektrických trakčních jednotek
3. Variantní provedení elektrické trakční jednotky
4. Víceparametrické hodnocení návrhu trakční jednotky
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Požadavky dle TSI CR PAS & LOC a TSI PRM
2. Široký, J. a kol. Stavba železničních vozidel. Skriptum. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2013. Dostupné na: <http://www.vvvd.cz/m10-stavba-zeleznicnich-vozidel-25.html>
3. Kolář, J. Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel. Skriptum. Praha: Nakladatelství ČVUT - Česká technika, 2009. ISBN 978-80-01-04262-5
4. Podklady výrobce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Sliva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Poděkování:

Rád bych poděkoval doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za všechny rady v průběhu vypracování diplomové práce a za veškerý čas, který mi věnoval. Poděkovat chci také Ing. Jiřímu Pohlovi z firmy Siemens za získání nových poznatků o konstrukci moderních kolejových vozidel.

Za velkou podporu v průběhu celého studia na vysoké škole děkuji rodině a přátelům.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Černušek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na kopci 23, Rohatec 696 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Černušek, P. *Návrh koncepce elektrické trakční jednotky*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 94 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Famfulík, J. Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na návrh koncepce elektrické trakční jednotky. V první teoretické části této práce se věnuji požadavkům na elektrickou trakční jednotku. V druhé teoretické části se věnuji víceparametrickým metodám a návrhu kritérií hodnocení pro elektrické trakční jednotky. V praktické části se pak věnuji návrhu koncepce elektrické trakční jednotky v jednopodlažním a dvoupodlažním provedení a jejich porovnání. V závěru práce jsem provedl víceparametrické hodnocení návrhu koncepce pomocí vytvořeného softwarového nástroje. Ten má usnadnit rozhodování a eliminovat chyby při hodnocení jednotek. Navržený software může být použit jak pro elektrické trakční jednotky dálkové, tak i pro příměstský provoz.

ANNOTATION OF MASTER'S THESIS

Bc. Černušek, P. *Design of Electric Traction Units Conception*: Master's thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transport, 2015, 94 p. Thesis head: doc. Ing. Famfulík, J. Ph.D.

This master's thesis focuses on design of electric traction unit conception. The first theoretical part of this thesis is devoted on requirements for electric traction unit. The second theoretical part is focused on multi-criteria rating and proposal assessment criteria for electric traction unit of the train. In the practical part, I have created new design of electric traction unit in one-storey and two storey design and compare them. In the final part of this thesis, I performed multiparametric evaluation of the proposal concepts. For the evaluation, I have used new created software tool which make decision easier and eliminated user error. The software can be used for the evaluation about electric traction unit for city and for high speed systems unit too.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	8
0 Úvod	9
1 Definice požadavků na elektrickou trakční jednotku	10
1.1 Pohybová rovnice vlaku	17
1.2 Hmotnost vlaku	18
1.3 Materiály pro konstrukci skříně vozidla	25
1.4 Aerodynamické vlivy	31
1.5 Obsaditelnost vozidel	35
1.6 Dveře železničních vozidel	38
1.7 Bezbariérovost vozidla	41
1.8 Průjezdny průřez a obrys pro konstrukci vozidla	42
2 Návrh kritérií hodnocení elektrických trakčních jednotek	49
2.1 Obecně o vícekritériální analýze	49
2.2 Metody stanovení vah kritérií	51
2.3 Jednoduché metody stanovení hodnoty (užitku) variant.....	55
2.4 Návrh kritérií pro elektrickou trakční jednotku	59
3 Variantní provedení elektrické trakční jednotky	62
3.1 Jednopodlažní trakční jednotka.....	62
3.2 Dvoupodlažní trakční jednotka	70
3.3 Srovnání variantního provedení jednotek	74
4 Víceparametrické hodnocení návrhu trakční jednotky	76
4.1 Vzorový výpočet a volba metody víceparametrického hodnocení	76
4.2 Návrh SW nástroje pro víceparametrické hodnocení.....	79
4.3 Víceparametrické hodnocení navržených koncepcí jednotek	89
5 Závěr	91
6 Seznam literatury	92

Seznam použitých zkratk

Wi-Fi	Bezdrátové připojení k internetové síti
ČD	České dráhy
DB	Deutsche Bahnhof (německé dráhy)
ŽST	Železniční stanice
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TSI	Technické specifikace interoperability
RP	Rozhodovací problém
HV	Hnací vozidlo
V	Přípojný osobní vůz
OS	Osoba (cestující)
DPP	Dopravní podnik Praha
HS	High Speed (termín pro vysokorychlostní vlak)
MHD	Městská hromadná doprava
TNŽ	Technická norma železnic
PID	Pražská integrovaná doprava
AC	Alternating current (střídavý proud)
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
KO	Knockout (vyřazovací kritérium)
LCC	Life cycle cost (náklady životního cyklu)
FMEA	Failure mode and effects analysis (analýza závad a důsledků)
PJ	Provozní jednotka
DKV	Depo kolejových vozidel
SW	Software (program)

0 Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvořit novou koncepci elektrických trakčních jednotek pro osobní dopravu. Použití trakčních jednotek je v současnosti v osobní dopravě velkým trendem. Není již třeba samostatných lokomotiv, jelikož vše máme integrováno do ucelené jednotky a to včetně pohonů. Máme možnost využívat moderní kolejové vozidlo, které dovede konkurovat nejen silniční dopravě. Vzniká tedy poptávka po „ideální“ jednotce, která přesně splňuje požadavky dopravce a potřeby cestujícího. Porovnávat zde budeme koncepci jak jednopodlažní tak dvoupodlažní jednotky pro běžný konvenční provoz použitelný v Evropě.

V první části této práce se seznámíme s požadavky, které jsou na tyto elektrické jednotky kladeny nejen z pohledu pohybu železničních vozidel, dopravců, cestujících, ale také bezpečnosti a volby materiálů, které jsou pro tyto jednotky použity. Také se seznámíme s postupem hodnocení těchto jednotek a navrhujeme nová kritéria, podle kterých budou jednotky porovnávány a následně vybrány do provozu. Další část této práce obsahuje samotný návrh koncepcí jednotlivých trakčních jednotek v provedení jednopodlažního a dvoupodlažního vozidla. Tyto jednotky poté budeme porovnávat pomocí navrženého softwaru.

1 Definice požadavků na elektrickou trakční jednotku

Na dnešní moderní kolejová vozidla jsou kladeny velké požadavky nejen ze strany nízkých nákladů na provoz a údržbu, ale také z pohledu praktičnosti. Je tedy nutné zohlednit komfort cestujících, ať už z pohledu jízdních vlastností celé soupravy, či jiných technických parametrů. V neposlední řadě záleží také na volbě interiéru vozidla, aby se cestující cítil komfortně a měl k dispozici vše, co potřebuje - od toalety až po Wi-Fi, či zásuvky na 230V. Proto se dopravci při obměnách svého vozového parku zaměřují na pořízení nových jednotek¹ jak pro příměstskou, tak pro dálkovou dopravu. Nespornou výhodou elektrických jednotek je to, že se v obrátových stanicích nemusí přepřahat hnací vozidlo nebo není nutné soupravu objíždět. To umožnilo velké snížení technologických časů v obrátových stanicích zejména v případě, kdy je nutné pro pokračování daného spoje změnit směr jízdy. Typickými zástupci stanic, kde je nutné měnit směr jízdy, mohou být například ŽST Brno, ŽST Břeclav a ŽST Olomouc. Pokud si představíme jízdu vlaku na lince Brno-Olomouc přes Břeclav, jsme nuceni změnit směr jízdy hned 3x (ve výchozí a cílové stanici, také ve stanici Břeclav), což nám nejen prodlužuje jízdní dobu našeho vlaku, ale také jsme s klasickou soupravou nuceni blokovat dopravní cestu, což není žádoucí.

Rozlišovat můžeme dva typy elektrických jednotek:

- Elektrické netrakční jednotky (Složeny z HV, vložených vozů a vozu řídicího)
- Elektrické trakční jednotky (Složeny z „trakčních“ vozů a vozů vložených)

Elektrické netrakční jednotky s koncepcí Push-Pull² vycházejí ze standardní koncepce vlaku. V soupravě používáme jednu lokomotivu, která jako jediná může vyvíjet tažnou sílu, vložené vozy a vůz řídicí, jež je uzpůsoben pro dálkové řízení lokomotivy. Průkopníkem trendu ucelených netrakčních jednotek se v Evropě staly Rakouské spolkové dráhy. Ty v roce 2006 započaly trend netrakčních jednotek první objednávkou vlaku s názvem Viaggio Comfort (nám známější pod názvem „Railjet“) od společnosti Siemens s.r.o. O tři roky později typové zkoušky na zkušebním železničním okruhu v Cerhenicích prokázaly, že provoz jednotek v sunutém režimu je bezpečný i při provozu ve vyšších rychlostech. Od roku 2014 jsou tyto netrakční jednotky nasazeny také v České republice

¹ V provozu nedělitelná souprava sestavená z lokomotiv/ hnacích vozů/ hlavových hnacích vozidel, vložených a řídicích vozů schopná vyvíjet tažnou sílu na obvodu kol.

² Složeno z anglických slov Push- „tlačit“ a Pull „táhnout“

jako nová „vlajková loď“ dálkových vlaků společnosti České dráhy na trase Vídeň – Brno – Praha.

Jednotka Railjet se skládá ze sedmi vozů (včetně vozu řídicího) a hnacího vozidla ř. 1216 přezdívané též jako Taurus. České dráhy chtěly využít stejné koncepce Push-Pull také pro regionální dopravu a tedy nejen snížit cestovní dobu, ale také eliminovat časté objíždění souprav a přepřahání hnacího vozidla. Zadaly tedy zakázku společnosti Pars nova a.s. na výrobu 34 řídicích vozů Bfhpvee²⁹⁵ (přezdívané též „Sysel“) určených pro dálkové řízení elektrických i motorových lokomotiv. Zde je nutné poznamenat, že se nejedná o elektrickou netrakovou jednotku, i když je způsob tvorby vlaku stejný (řídicí vůz + vložené vozy + lokomotiva). Jednotlivé vozy jsou rozpojitelné a využívají standardních mezivozových rozhraní dle UIC (tažný hák se šroubovkou, nárazníky, spojovací hadice napájecího a hlavního potrubí pneumatické samočinné brzdy, ovládací vedení) a mezivozových přechodů s pryžovými návalky a odpruženými přechodovými můstky dle UIC 561.



Obr. č. 1: Netraková jednotka ČD „Railjet“ v čele s řídicím vozem (Zdroj: Autor)

Mezi nesporné výhody elektrických netrakových jednotek patří velká bezpečnost cestujících. Především se jedná o opuštění vozidla v době jízdy, a to ať už se jedná o výstup cestujícím plánovaný (výstup na širé trati, výskok z vlaku atp.), nebo neplánovaný (samovolné otevření dveří). Bezpečnost je zajištěna tím, že se dveře po uvedení vlaku do pohybu uzamknou.

V předešlých letech jsme také mohli přecházet mezi vozy po sklopném můstku oddělené od vnějšího prostřední pouze pryžovými návalky. To například v zimních měsících mohlo nést značnou míru rizika díky sněhu nebo ledu, který zde zůstal

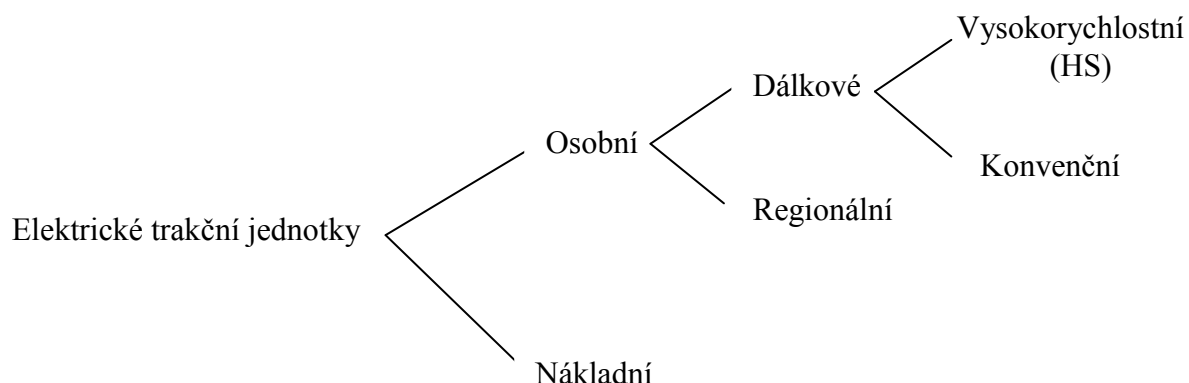
před spojením jednotlivých vozů do soupravy ve vlakové stanici. Opatření moderních vozů tlakotěsným přechodem umožnilo zvýšit bezpečnost nejen při přecházení, ale také v případě pohybu dětí v jeho okolí, kdy nehrozí pád do kolejiště. Interiér vozů se stal čistějším a zejména tišším (odhlučnění), průchod celým vlakem se stal bezbariérovým (volně průchozí celek) a umožnil také snazší pohyb cateringu. V neposlední řadě je také třeba zmínit, že tyto mezivozové přechody slouží jako protipožární ochrana mezi jednotlivými vozy soupravy.



Obr. č. 2: Tlakotěsný přechod mezi vozy soupravy Railjet. (Zdroj: Autor)

Pozornost je však nutné věnovat především elektrickým trakčním jednotkám. Ty ve stále větší míře začínají nahrazovat staré konvenční soupravy. Nespornou výhodou použití trakční jednotky je zvýšení komfortu cestujícího, bezpečnosti, ale také atraktivity železniční dopravy. Pro dopravce má využití elektrické trakční jednotky hned několik opodstatnění. Moderní lehkou a ucelenou jednotkou jsme schopni snížit provozní náklady (spotřeba energie, údržba, použití dopravní cesty) a také snížit dobu jízdy a obsazení úseku na trati (blokování jízdy dalších vlaků). Jednotky můžeme již při výrobě uzpůsobit jejich plánovanému nasazení (modularita vozidel) a umožnit tak co nejlepší využití míst a prostoru dle přání zákazníka (včetně počtu vozů jednotky). Takové vozidlo kombinuje výhody netrakčních elektrických jednotek (bezpečnostní dveře, tlakotěsný přechod mezi vozy, obraty ve stanicích pouhou změnou stanoviště, atd...), a díky odstranění klasické lokomotivy máme možnost rozložit hmotnost celého vlaku mezi jednotlivé vozy a to včetně výzbroje vozidla. Touto úpravou docílíme lepší adheze celého vozidla s možností volby počtu hnaných dvojkolí či podvozků, a také menšího zatížení železničního svršku vozidlem.

Elektrické trakční jednotky můžeme rozdělit dle následujícího schématu:



Nyní si jen v obecnosti přiblížíme rozdíly jednotlivých typů elektrických trakčních jednotek.

Nákladní elektrické trakční jednotky jsou zatím spíše unikátem. Zástupcem tohoto typu vozidla ve světě je M250 Series Super Rail Cargo provozovaná společností Sagawa Express v Japonsku.



Obr. č. 3: M250 Series Super Rail Cargo s nákladem (Zdroj: [1])

Tato jednotka umožňuje přepravovat intermodální³ náklad rychlostí až 130 km/h. Výhodou této jednotky je také variabilní délka podle počtu přepravovaných kontejnerů fungující na bázi koncepce Push – Pull. V Evropě se využívá podobné koncepce ovšem v provedení nezávislé trakce pod názvem CargoSprinter u společnosti DB.

³ využívající více druhů dopravy, zde se přepravují výhradně unifikované jednotky (ISO kontejnery aj...)

Koncepce podobná nákladní elektrické trakční jednotce se v Evropě využívá pro přepravu nákladu mezi Francií (Calais) a Velkou Británií (Folkestone) v Eurotunelu pod názvem Euro shuttle. Tato jednotka je osazena dvojicí lokomotiv, které pracují vždy společně, a ucelenou skupinou 30 vložených vozů. Tato jednotka měří 775 metrů a každý den pod Eurotunelem přepravuje velké množství cestujících a silničních vozidel. Na obrázku č. 4 můžeme vidět tuto jednotku s vozy pro přepravu lehkých silničních vozidel a motocyklů společně s cestujícími. Jednotka se také využívá s dalším typem vložených vozů určených pro autobusy a nákladní silniční vozidla. Z důvodu velikosti nemůže tato jednotka na rozdíl od ostatních přepravovat další náklady mimo vozbu Calais – Folkestone. Nevyhovuje totiž evropským standardům na obrys vozidla.



Obr. č. 4: Euro shuttle a nákladka silničních vozidel (Zdroj: [2])

Rozdíly u osobních trakčních jednotek jsou výraznější. Zde je nutné zdůraznit základní rozdělení na regionální a dálkové jednotky. Ty se liší především vahou, rychlostí výměny cestujících a také komfortem.

Zavádění regionálních jednotek má své velké opodstatnění jak z důvodů technických, tak i ekonomických. Od regionálního vlaku vyžadujeme velké zrychlení a nízkou spotřebu, čehož za použití klasické soupravy s lokomotivou nejsme schopni dosáhnout. Regionální jednotky jsou však schopny splnit oba požadavky současně a to díky nízké hmotnosti rozložené mezi jednotlivé vozy, a způsobu pohonu. Pohyb vlaku zajišťují trakční vozy jednotky, které jsou současně obsaditelné velkým množstvím cestujících. To nám umožňuje zvýšení adhezní hmotnosti jednotlivých vozů pomocí užitečné zátěže (cestujících) a tím i potřebné dynamiky vozidla. Výhodné je použití zejména jednopodlažních jednotek, protože umožňují jednotlivé části výzbroje umístit buď

na střechu, nebo do spodní části vozidla. Tím zajistíme maximální prostor pro cestující se stejným komfortem po celé délce jednotky. S jednotkami pro regionální dopravu jsme schopni respektovat požadavek rychlého výstupu a nástupu cestujících pomocí dvoukřídlých dveří a vnější bezbariérovosti vozidla. Ta nám umožní rychlou výměnu cestujících, a to i těch se sníženou schopností pohybu a orientace, cestujících s jízdním kolem či cestujících na invalidním vozíku. I přesto, že pobyt cestujících ve vozidle je krátkodobý, požadujeme co největší obsaditelnost této jednotky, protože našim cílem je přepravit co nejvíce cestujících. Proto je uvnitř jednotky snížen také počet toalet, aby tento prostor mohl být použit spíše jako víceúčelový (pro přepravu jízdních kol, kočárků, osob na vozíku), či jako další prostor pro cestující. V případě nutnosti je možné spřáhnout až čtyři stejné jednotky (z důvodu velkých přepravních požadavků). Elektrické trakční jednotky se pohybují zejména po celostátních drahách. Je tedy třeba v co nejkratším čase daný úsek tratě, který svou jízdou obsazují, uvolnit k jízdě dalších vlaků. Typickými zástupci regionálních trakčních jednotek jsou např. Regio Panter od výrobce Škoda Transportation a.s. a Desiro ML od výrobce Siemens s.r.o.



Obr. č. 5: Regionální jednotka Desiro ML od výrobce Siemens s.r.o. (Zdroj: [3])

U dálkové dopravy nám naopak výrazně nezáleží na váze jednotky, ale na komfortu cestujících, kteří ve vlaku budou trávit i několik hodin. Je zde potřeba vytvořit takovou atmosféru aby se zde cestující cítil dobře a i příště neváhal upřednostnit cestu v železničním vozidle před vozidlem silničním. Velký komfort ovšem neznamená jen měkčí polohovatelná sedadla s loketními opěrkami, ale také větší prostor pro nohy, sociální zařízení (podstatně větší počet než u regionální dopravy), možnost občerstvení, klimatizace, tlakotěsnost a příjemné osvětlení vozidla. Samozřejmostí je zde také oddělení

nástupních prostorů od prostoru pro cestující, kde nám z důvodu dlouhé přepravní vzdálenosti stačí jednokřídlé dveře. Je tedy nutné u těchto koncepcí najít kompromis pro dopravce i cestující.

Důležité je se také zmínit o rozdílech v dálkové dopravě. Existují dva typy. Konvenční s vozidly do rychlosti 189 km/h a vozidla vysokorychlostní. Jako konvenční jednotky se mohou používat i jednotky stejné konstrukce jako v regionální dopravě (např. Desiro ML). Výrobce s touto variantou počítá a nabízí tedy modularitu⁴ interiéru jak pro příměstskou tak i dálkovou dopravu. Vozidla vysokorychlostní jsou odlišná už ze své podstaty infrastruktury. Využívají pouze vysokorychlostní trať bez úrovnových přejezdů a platí pro ně podstatně přísnější podmínky oproti vozidlům konvenčním. Je zde také kladen velký důraz na aerodynamiku vozidla, jak můžete vidět na obrázku č. 6. Ve složení interiéru se však vozidla dálkové dopravy výrazně neliší.

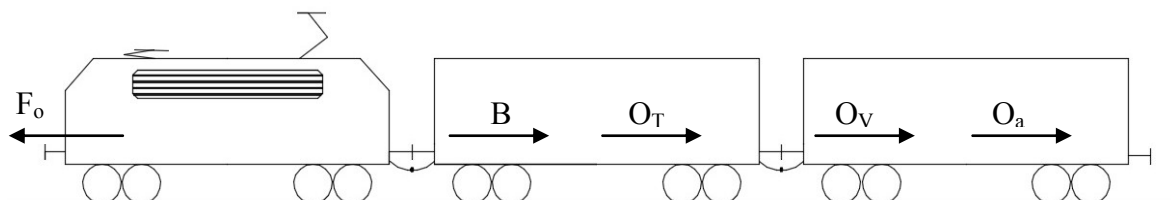


Obr. č. 6: Dálková vysokorychlostní jednotka (Zdroj: [4])

⁴ Možnost operativní alternativní nabídky zákazníkovi. Výběr z množství sedadel, toalet, odkládacích prostor. Rozmístění těchto prvků se řídí požadavkem zákazníka.

1.1 Pohybová rovnice vlaku

Před samotným rozбором požadavků na elektrickou trakční jednotku je třeba si uvědomit základní znalost v této oblasti - pohybovou rovnici vlaku. Tato rovnice nám popisuje jednotlivé složky sil působící na vlak. Ten uvažujeme ve zjednodušené formě jako homogenní těleso bez uvedení délky soupravy a všechny síly působící na vlak jsou koncentrovány do těžiště tohoto homogenního tělesa. Pomocí takového zjednodušení jsme vlak redukovali na jeden hmotný bod. Rovnice pohybu vlaku [5] vyjadřuje rovnováhu mezi silami působícími proti i ve směru pohybu vlaku. Obecně můžeme tyto síly nazvat jako síly tažné, brzdné a síly působící jako odpor proti jízdě vlaku. V případě výpočtů uvažujeme, že je jedna ze sil brzdných nebo tažných rovna nule a to proto, že při samotné jízdě vlaku se obě síly nepoužívají současně.



Obr. č. 7: Síly působící na pohybující se vozidlo (zdroj: Autor)

Rovnováhu sil z obrázku č. 7 můžeme zapsat jako:

$$F_o - B - O_T - O_V - O_a = 0 \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde:

F_o Tažná síla [N]

B Brzdná síla [N]

O_T Odpor traťový [N]

O_V Odpor vozidlový [N]

O_a Odpor zrychlení [N]

Tuto rovnici lze použít také v tíhovém vyjádření [5], kde je počítáno s tíhou vozidel a měrnými vozidlovými a traťovými odpory. Odpory jsou pak přímo závislé na tíze vozidel. Dále je rozepsán odpor ze zrychlení, který zahrnuje i vliv rotačních hmot.

$$F_o - \underbrace{G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D}_{O_V} - \underbrace{(G_L + G_D) \cdot o_T}_{O_T} - \underbrace{(G_L + G_D) \cdot \frac{a}{g} \cdot (1 + \rho)}_{O_a} = 0 \quad [\text{N}] \quad (2)$$

Základní rovnice pohybu vlaku používaná ve výpočtech má následující tvar:

$$F_o - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = (G_L + G_D) \cdot \frac{(1+\rho)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{N}] \quad (3)$$

kde:

G_L	Tíha lokomotivy	[N]
o_L	Součinitel vozidlového odporu lokomotivy	[-]
G_D	Tíha dopravovaných vozidel	[N]
o_D	Součinitel vozidlového odporu dopravovaných vozidel	[-]
o_T	Součinitel odporu tratě	[-]
v	Rychlost	[m/s]
t	Čas	[s]
ρ	Součinitel rotujících hmot	[-]

1.2 Hmotnost vlaku

Hmotnost vlaku je důležitým faktorem at' už v osobní či nákladní dopravě. My se v této kapitole zaměříme na vlaky osobní dopravy. Hmotnost vlaku se zde liší podle toho pro jakou osobní vozbu je vlak určen.

Rozlišit zde můžeme tyto typy:

- Vlak pro příměstskou dopravu
- Vlak pro dálkovou nebo vysokorychlostní dopravu

Toto rozdělení nám umožňuje představit si dva rozdílné typy vlakových souprav:

- 1) Příměstská doprava - motorový vůz 810 + vůz Btax⁷⁸⁰ (Hmotnost vlaku 35t) [6]



- 2) Dálková doprava – Lokomotiva ř. 362 + vůz ABpee³⁴⁷ + 2x vůz Bdtee²⁷⁶ + řídící vůz Bfhpvee²⁹⁵ (Hmotnost 240t) [6]



U uvedených dvou souprav můžeme vidět jak odlišnou hmotnost, tak i délku. K dalším faktorům patří obsaditelnost (které se budeme věnovat později) a také výkon jednotlivých souprav.

Hlavním faktorem rozdílné hmotnosti je nasazení na jednotlivé vozby. Souprava č. 1 je určena pro příměstský provoz (regionální) od kterého očekáváme, že vzdálenost mezi stanicemi bude malá - do 5 km. Tedy očekáváme častý rozjezd a zastavování ve stanicích. Z nízké hmotnosti soupravy tedy vyplývá, že není třeba velkého výkonu motoru, respektive velké spotřeby energie, ať už z fosilních paliv nebo z energie elektrické. Tento fakt si můžeme ověřit pomocí energetického vyjádření pohybové rovnice pro kolejová vozidla. V obecnosti budeme uvažovat pouze s kinetickou energií potřebnou pro uvedení vlaku do pohybu na stanovenou rychlost. Zanedbáme odpory proti jízdě vlaku, také sklonové poměry tratě a budeme uvažovat trať jako rovinu. Důležité je také zmínit, že zanedbáváme vliv rotačních hmot a účinnost jednotlivých pohonů. Výsledky jsou tedy pouze orientační pro představu kolik energie je spotřebováno pro rozjezd vozidla na stanovenou rychlost. K výpočtu použijeme rovnici pro kinetickou energii [5]:

$$E_k = m_{vl} \cdot \frac{v^2}{2} \quad [J] \quad (4)$$

kde:

m_{vl} Hmotnost vlaku [kg]

v Plánovaná rychlost [m/s]

Vzorový výpočet provedeme pro soupravu č. 1 určenou pro příměstskou dopravu cestujících. Jelikož má osobní motorový vůz řady 810 maximální rychlost 80 km/h budeme počítat kinetickou energii pro dosažení právě této rychlosti.

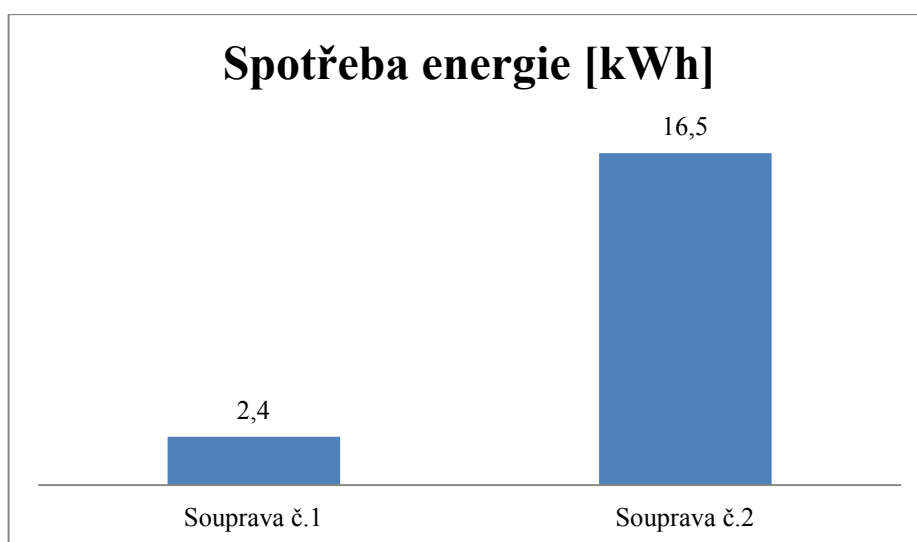
$$E_{k1} = 35\,000 \cdot \frac{493,73}{2} = 8\,640\,275 \text{ J}$$

Pro lepší představu o výsledku převedeme výslednou hodnotu na kWh.

$$E_{kWh1} = E_k \cdot 2,778 \cdot 10^{-7} = 2,4 \text{ kWh}$$

Obdobně bychom mohli provést výpočet i pro soupravu č. 2 určenou k dálkové dopravě. Zde také provádíme výpočet pro dosažení rychlosti 80 km/h. U této soupravy je výsledná energie E_{kWh2} potřebná pro rozjezd vlaku 16,5 kWh.

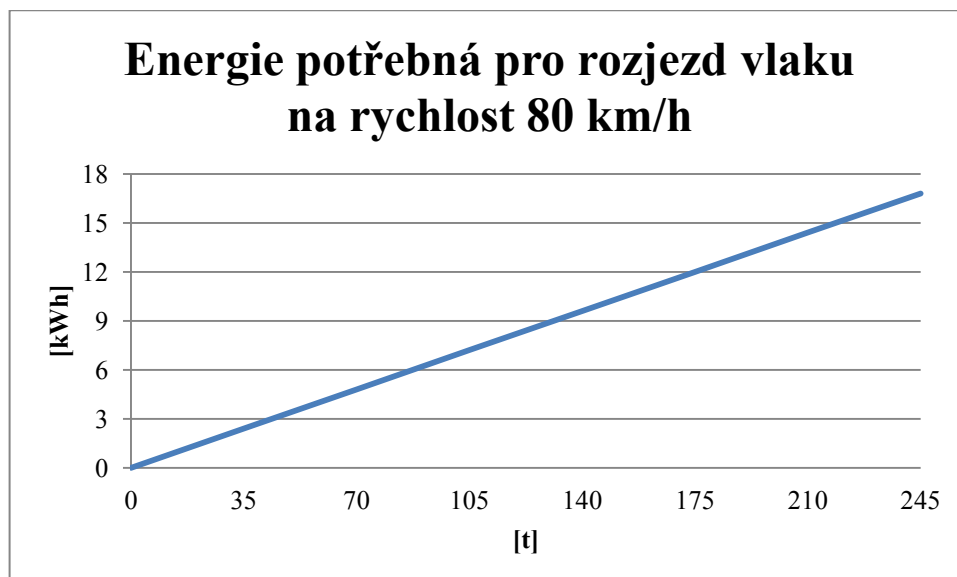
Výsledné hodnoty můžeme vzájemně porovnat, jak je možné vidět na obrázku č. 8.



Obr. č. 8: Porovnání spotřeb jednotlivých souprav (zdroj: Autor)

Z uvedených výsledků vyplývá, že spotřeba energie pro rozjezd skutečně roste s váhou vozidla. Je tedy nezbytně nutné rozlišovat vozidla regionální a dálkové vozby, kde nám hmotnost jednotky či soupravy nehraje tak významnou roli.

Pokud budeme stále uvažovat zanedbání všech odporů (včetně odporu rotačních hmot a účinnost jednotlivých pohonů) a počítat jen energii vynaloženou na rozjezd vlaku, můžeme hodnotit nárůst potřebné energie v závislosti na hmotnosti jako lineární, jak můžeme vidět na obrázku č. 9.



Obr. č. 9: Energie potřebná pro rozjezd vlaku v závislosti na jeho hmotnosti (zdroj: Autor)

Z výsledku vyplývá, že snaha snižovat hmotnost vozidla je správná a to zejména v regionální dopravě. Použitím lehčího vozidla se sníží měrná spotřeba energie, která je potřebná pro časté rozjíždění vlaku.

Další výhody, kterých můžeme dosáhnout při snížení hmotnosti vlaku [7]:

- Významné snížení jízdního odporu a tedy i úspora energie
- Omezení nepříznivých vlivů na kolejový svršek
- Nižší opotřebení dvojkolí
- Nižší spotřeba materiálu pro stavbu vozidla
- Vyhovění environmentálním požadavkům (mj. nižší spotřeba energie při výrobě a následně i ve vlastním provozu)

Snížením váhy vozidla použitím jiného druhu materiálu na stavbu hrubé skříně se budeme zabývat v kapitole 1.3.

Hmotnost vozidla ve složkách

V předešlé podkapitole jsme se zaměřili na hmotnost vozidla jako celku. Nyní je třeba se zaměřit nad rozdíly a úskalí tohoto tématu.

Hmotnost vozidla můžeme rozdělit na dvě složky [5]:

- Vlastní hmotnost vozidla (vč. provozních hmot⁵)

⁵ tj. náplně nutné k samotnému provozu vozidla: pohonné hmoty, křemičitý písek pro zvýšení adhezních podmínek pro brzdění a rozjezd vozidla, olejové náplně, voda pro sociální zařízení.

- Hmotnost užitečné zátěže (v našem případě cestujících)

Celkovou hmotnost vlaku, tedy skládáme z těchto dvou složek tak, abychom uvažovali i s nákladem, který budeme přepravovat - cestujícími.

Vyjádřit celkovou hmotnost vozidla můžeme elementární rovnicí

$$m = m_v + m_z \quad [\text{kg}] \quad (5)$$

kde:

m_v Vlastní hmotnost vozidla [kg]

m_z Hmotnost užitečné zátěže [kg]

Hmotnost užitečné zátěže m_z se vypočítáme ze vzorce pro výpočet užitečného zatížení vozidla pro přepravu cestujících

$$m_z = N_c \cdot m_1 \quad [\text{kg}] \quad (6)$$

kde:

N_c Počet cestujících [-]

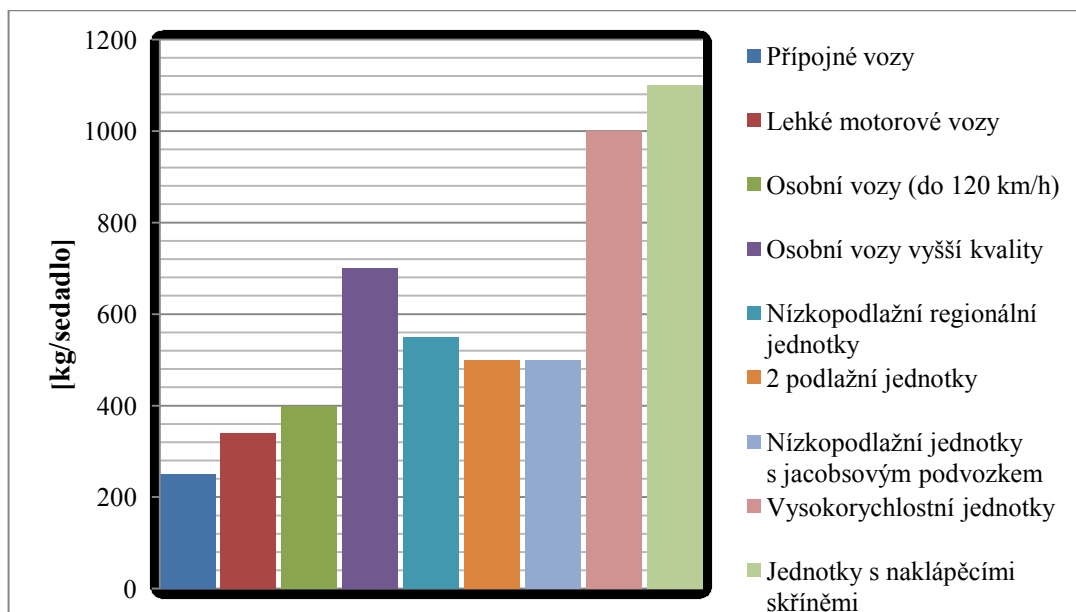
m_1 Hmotnost jednoho cestujícího [kg]

Hmotnost m_1 je hmotnost cestujícího i se zavazadly. Podle evropských norem má průměrný cestující mezi 70-80 kg. Ve skutečnu je tato hodnota odlišná. Z měření DPP v roce 2003 vyplynulo, že průměrný cestující váží 84 kg.⁶

Hmotnost na sedadlo

Hmotnost prázdného vozidla vztažená na jedno místo k sezení je velmi důležitým parametrem jednotlivých typů vlaků. Opět je důležité poznamenat, že hlavním rozdílem v různých hmotnostech na sedadlo jednotlivých vlaků a jednotek, je jejich plánované nasazení a určení. Tento fakt můžeme vidět na obrázku č. 10. [8]

⁶ Informaci poskytla firma Siemens v rámci předmětu Moderní kolejová vozidla.



Obr. č. 10: Hmotnost vlaku jako poměr hmotnosti na sedadlo (zdroj: Autor)

Hodnota hmotnosti na sedadlo velmi významně ovlivňuje tyto parametry:

- Cenu vozidla
- Provozní náklady

Cena vozidla

Důležitým faktorem pro výběr vozidla je jeho cena. U vlaků pro osobní dopravu je tento fakt ještě výraznější. Jak jsme si řekli již v úvodu této kapitoly, je pro nás výhodnější nižší hmotnost vlaku. Totéž platí i o jeho ceně. Trend snižování ceny na sedadlo je nejvíce zřetelný zejména u regionální dopravy.

Cena za kilogram drážního vozidla se pohybuje v rozmezí 1200 – 1800 Kč/kg⁷. Pokud si vypočteme cenu za jedno sedadlo u dvoupatrové trakční jednotky (viz obrázek č. 10), můžeme pak dosáhnout například hodnoty 700 000 Kč/sedadlo. Obecnou snahou je dosáhnout této ceny co nejnižší. Výjimku z pravidla zde opět tvoří dálková doprava, kde musíme cestujícím zajistit vyšší komfort dopravy, protože ve vlaku tráví podstatně více času. Pokud bychom chtěli dosáhnout nižší ceny za vozidlo, můžeme například využít množstevní slevy za odběr více vozidel, použití homologovaných dílů např. sedadel, abychom si v ceně vozidla nepřipláceli za další vývoj komponentů, či porovnat cenovou nabídku mezi jednotlivými výrobci kolejových vozidel.

Provozní náklady

Provozními náklady rozumíme náklady spojené s údržbou, jízdou vlaku atd. Nyní se nebudeme zabývat pracovní silou, cenou náhradních dílů či cenou dalších provozních hmot, ale zaměříme se na provozní náklady spojené s přímou jízdou vlaku, tedy spotřebu energie a poplatky za použití dopravní cesty. Jaké množství energie

⁷ Informaci poskytla firma Siemens v rámci předmětu Moderní kolejová vozidla.

potřebujeme, abychom dosáhli stanovené rychlosti vlaku, jsme si definovali v úvodu této kapitoly. Poplatek za použití dopravní cesty je právě tím poplatkem, který nám samotný provoz bude velmi prodražovat. Pokud budeme mít například těžký vlak s nízkou kapacitou, zaplatíme zbytečně více za pronájem dopravní cesty. Právě proto musíme využívat vlaky tak, abychom docílili ideálního poměru „cena/výkon“ dle naší potřeby.

Jako vzorový příklad si opět můžeme představit naše dvě vzorové soupravy (viz kapitola 1.2) Soupravu č. 1 o hmotnosti 35 tun se 100 místy k sezení a soupravu č. 2 o hmotnosti 240 tun s 300 místy k sezení. Obě soupravy jsou nasazeny na tratích, které nesou označení 270, 330 a 250 tedy jako vlaky na trati Olomouc – Brno s celkovou vzdáleností 181 km. Uvedeme si vzorec [9], se kterým budeme nyní počítat výslednou cenu za pronájem dráhy u vlastníka dráhy, tedy u Správy železniční dopravní cesty (dále jen SŽDC)

$$C = S_1 \cdot L + \left(\frac{Q}{1000}\right) \cdot S_2 \cdot L \quad [\text{Kč}] \quad (7)$$

kde:

$$S_1 = 5,32 \text{ Kč/vlkm}^8$$

$$S_2 = 29,20 \text{ Kč/1000 hrtkm}^9$$

$$L = \text{Vzdálenost jízdy vlaku} \quad [\text{km}]$$

$$Q = \text{Hrubá hmotnost vlaku} \quad [\text{t}]$$

Z výpočtu vyplývá, že za pronájem dráhy u SŽDC zaplatíme za jízdu danou dráhou cca 1150 Kč při použití soupravy č. 1. Za překonání stejné trasy se soupravou č. 2 zaplatíme 2250 Kč. Na první pohled se nám tedy jeví použití menšího a lehčího vlaku jako výhodnější. Je však nutné cenu rozpočítat na jednotlivá sedadla našich souprav.

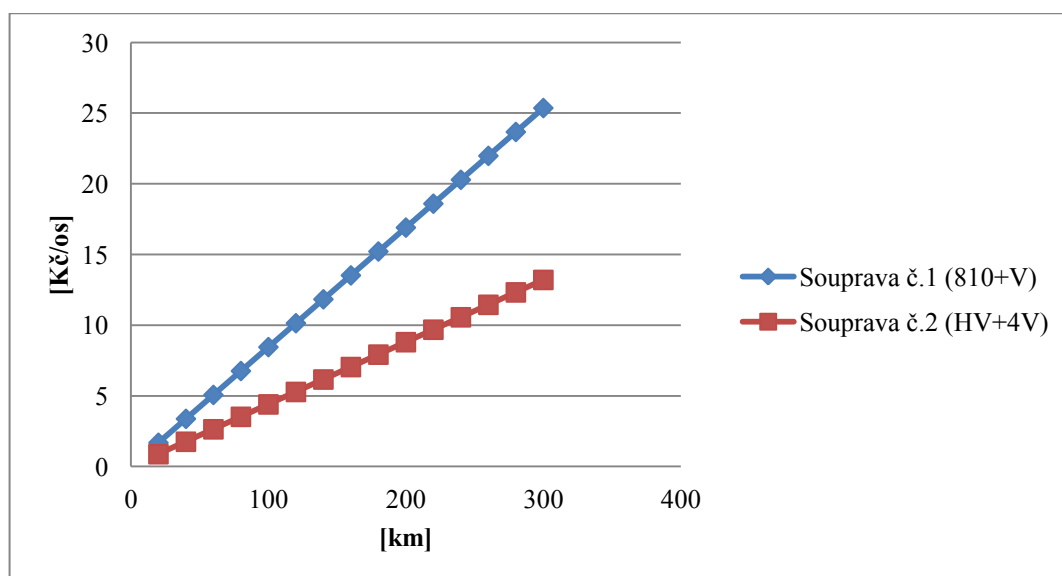
Zjišťujeme zajímavý paradox, že výsledná cena za pronájem dráhy na jedno sedadlo nepotvrzuje očekávaný výsledek:

- Souprava č. 1 – 12 Kč/sedadlo
- Souprava č. 2 – 7,5 Kč/sedadlo

Po zanesení hodnot do grafu sledujeme, že je pro nás vždy výhodnější cestu vykonat s větším a těžším vlakem zejména proto, že má lepší obsaditelnost. Tento fakt je o to zjevnější s rostoucí vzdáleností, jak můžeme vidět na obrázku č. 11.

⁸ Dáno předpisem SŽDC pro pravidelné vlaky

⁹ Dáno předpisem SŽDC pro pravidelné vlaky



Obr. č. 11: Cena na sedadlo v závislosti na ujeté vzdálenosti (zdroj: Autor)

1.3 Materiály pro konstrukci skříně vozidla

Základem pro volbu materiálu, vhodného ke konstrukci vozidlové skříně, jsou jeho pevnostní požadavky. Ty jsou stanoveny jak vyhláškami UIC, tak normami TSI. Materiál musí být schopen pevnostně vyhovět v potřebách maximálních sil vzniklých provozním zatížením, ať už působící na vozidlo stojící, či při samotné jízdě vozidla. To vše je podmíněno splněním požadované doby životnosti vozidla. Schopnost skříně odolat vzniku trhlin a trvalých deformací se nejčastěji ověřuje pomocí počítačových simulací či pevnostními zkouškami. U výsledků je rozhodující úvaha, jak snadno by mohlo dojít k překročení maximálního namáhání. Navrhování jednotlivých skříní vozidel se řídí normou ČSN EN 12663-1 (280320) – Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel – Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (tato norma je obsažena v předpisu TSI pro konvenční i HS dopravu). Předpis TSI také hovoří o situacích, kdy dojde ke srážce vozidla s různými překážkami. Zde mimo pevnostních podmínek stanovuje i obecné zásady jako prevenci před ohrožením cestujících [7]:

- Omezení nebezpečí možnosti šplhání vozidel¹⁰
- Omezení následků srážky s překážkou
- kontrolovatelné absorbování energie vzniklé nárazem
- vymezení a zachování prostoru s minimálními důsledky případné deformace čelních částí (konstrukční celistvost), minimalizace následků srážky

¹⁰ Zabránění vychýlení vlakových jednotek do svislé polohy.

- odolnost proti vniknutí cizích těles do prostoru dle předchozího bodu
- snížení hodnoty maximálního zpomalení
- snížení pravděpodobnosti vykolejení

Před tím, než si vysvětlíme jednotlivé druhy materiálů pro konstrukci skříně vozidla, si hlouběji rozebereme problematiku normy EN 15227 – Požadavky na odolnost skříní železničních vozidel proti nárazu. Vozidlo, které by nebylo schopné splnit tuto normu, nemůže být provozováno. Naším hlavním cílem je ochrana cestujících.

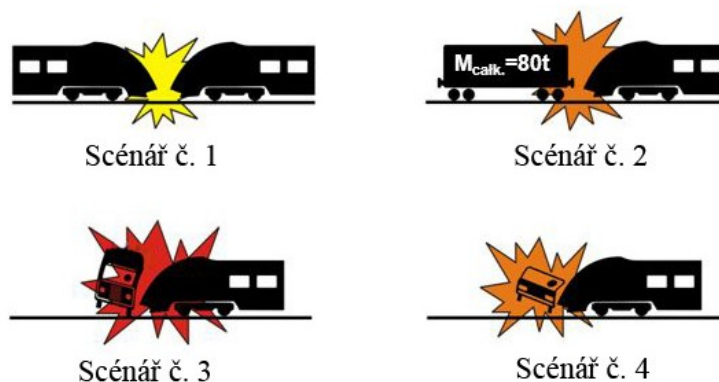
Norma EN 15227

Tato evropská norma platí pro nové konstrukce lokomotiv a osobních kolejových vozidel podle definic v kategoriích C-1 až C-4. My se budeme zabývat kategorií C-1, která definuje vozidla určená k provozu na tratích transevropské sítě, mezinárodních a regionálních tratí. Normy v kategoriích C-2 až C-4 se zabývají bezpečností MHD (metro, tramvaje a jiné městské dráhy), tedy nejsou pro náš účel relevantní.

Norma má za úkol chránit cestující zachováním konstrukční celistvosti vozidla. Zohledňuje také fakt, že můžeme spojit vozidla nová (s odolností proti nárazu) s již existujícími vozidly, které nebudou proti nárazu dostatečně odolná (taková kombinace nemusí evropskou normu splňovat). Tyto požadavky se vztahují na skříň vozidla a na mechanické prvky, které jsou s ní spojené, a mohou být použity k pohlcování energie při nárazu (spřáhla a narážecí systémy), aby se zabránilo poškození hrubé skříně vozidla a byla zvýšena bezpečnost cestujících zejména z pohledu běžných, ale i smrtelných zranění. [10]

Pro vozidla kategorie C-1 jsou stanoveny následující typy nehodových scénářů srážky [10]:

- 1) Čelní srážka dvou totožných vlakových jednotek
- 2) Čelní srážka s odlišným typem železničního vozidla
- 3) Náraz čela vlakové jednotky do velkého silničního vozidla na úrovňovém přejezdu
- 4) Náraz vlakové jednotky do nízké překážky (např. osobní automobil na úrovňovém přejezdu, zvíře, odpadlý materiál)



Obr. č. 12: Scénáře nárazu dle EN 15227 (zdroj: [12])

Stanovené rychlosti pro vykonání čtyř daných scénářů zkoušky pouze pro skupinu C-1: lokomotivy a osobní kolejová vozidla pro evropskou železniční síť jsou uvedeny v tabulce č. 1. Pokud vozidla nejsou schopna vyvinout dostatečnou kolizní rychlost uvedenou v této normě (např. posunovací lokomotiva), pak požadavky na odolnost proti srážce nemusejí být uplatněny. [10]

Tabulka č. 1: Rychlost vozidel z pohledu pasivní bezpečnosti při srážce. [11]

Scénář č.	Typ překážky	Rychlost nárazu
1	totožná vlaková jednotka	36 km/h
2	Nákladní vůz 80t	36 km/h
3	neformovatelná překážka	50 km/h - 110 km/h
4	malá, nízká překážka	Viz požadavky na smetadlo

Ověření deformační odolnosti vozidla se u scénářů č. 1 a č. 2 provádí kombinovanou metodou. Požadavky na pasivní bezpečnost jsou stanoveny pro vlakovou jednotku jako celek. Vyhodnotit chování vlakové jednotky pomocí reálných zkoušek však není účelné. Je třeba provést ověření pomocí dynamické simulace. Použití pouze numerické simulace se ovšem považuje za postačující pouze z pohledu pevnosti pro omezenou deformaci skříně vozidla. Pro oblasti, kde dochází k rozsáhlejším deformacím, musí být numerický model ověřen pomocí vhodných zkoušek (kombinovaná metoda). [11]

Scénář č. 3 je ověřován pouze numerickou simulací (pokud vozidlo vyhovělo v případě scénářů č. 1 a č. 2, můžeme tedy numerickou simulaci považovat za validní). Zde je přesně předepsána překážka, kterou se nahrazuje cisternový automobil o hmotnosti 15 tun. U vozidel s maximální rychlostí jízdy vyšší než 160km/h je maximální rychlost

nárazu omezena na 110 km/h. Toto vychází z předpokladu, že u tratí, kde je povolena rychlost jízdy vyšší jak 160 km/h, není povoleno úrovnové křížení železnice se silnicí. Taktéž pokud je daná infrastruktura zcela oddělena od běžných komunikací (resp. nedochází ke křížení dráhy s úrovnovým přejezdem po celé délce), nemusí vozidlo splňovat daný kolizní scénář č. 3 (typickým zástupcem jsou HS systémy s vlastní oddělenou infrastrukturou). [11]

Požadavky na smetadlo

Vedoucí vozidla kategorie C-1 musí být opatřena smetadlem překážek. To musí mít dostatečnou velikost, aby odstraňovalo překážky z dráhy podvozku, a konstrukce musí být souvislá. Nesmí také smetat překážky směrem nahoru nebo dolů. Za běžných provozních podmínek musí být spodní okraj smetadla tak blízko trati, jak to pohyby vozidla a průjezdný profil vozidla dovolují. Jak silný náraz musí smetadlo vydržet v závislosti na provozní rychlosti vozidla uvádí tabulka č. 2. [10]

Tabulka č. 2: Požadavky na zatížení smetadla [10]

Provozní rychlost	≥ 160 km/h	140 km/h	120 km/h	100 km/h	80 km/h
Statické zatížení v ose	300 kN	240 kN	180 kN	120 kN	60 kN
Statické zatížení v příčné vzdálenosti 750 mm od osy	250 kN	200 kN	150 kN	100 kN	50 kN

Konstrukční scénáře srážky, jež jsou uvedeny výše, nejsou jedinými případy, k nimž dochází na infrastruktuře veřejné železniční dopravy v Evropě. Představují však nejtypičtější kolizní situace a současně i situace, při nichž dochází k největšímu počtu smrtelných zranění.

Přístupy k deformační odolnosti kolejových vozidel pro přepravu osob

Na základě požadavků v evropské normě EN 15227 se v současnosti vytvořily dva přístupy ke konstrukci kolejových vozidel v oblasti deformační odolnosti. [11]

- První přístup je využíván zejména u konstrukce lokomotiv. Je založen na užití deformačních prvků. Vlastní hrubá stavba se nedeformuje a veškerou potřebnou energii absorbují deformační prvky a nárazníky vozidla. Při použití tohoto přístupu můžeme docílit splnění požadavků scénářů č. 1 a č. 2 i pro těžké lokomotivy o hmotnosti 90 tun.

- Druhý přístup vychází z kombinovaného absorbování energie deformačními prvky a řízenou deformací kabiny strojvedoucího. Tento přístup je využíván zejména při konstrukci elektrických a motorových jednotek. Nevýhodou zde však může být nejen poškození kabiny strojvedoucího, ale celé hrubé stavby skříně. To v případě použití skříně z hliníku může vést ke skutečně velkým nákladům na opravu a uvedení vozidla zpět do provozuschopného stavu.

Dělení konstrukce skříně dle materiálů [7]:

Ocelová

- Uhlíková ocel s mezí pevnosti 370-450MPa – ČSN EN 10025-2 / RSt 37-2/ 1.0038/ 11375 ČSN
- Uhlíková ocel s mezí pevnosti 480-620MPa – ČSN EN 10025-2 / RSt 52-3/ 1.0570/ 11523 ČSN
- Korozivzdorná austenitická ocel (18% Cr – 9% Ni, bez nutnosti povrchových úprav)

Hliníkové slitiny

- Antikorodal (Al, Mg, Si)
- Peraluman (Al, Mg některé typy s příměsí Mn)

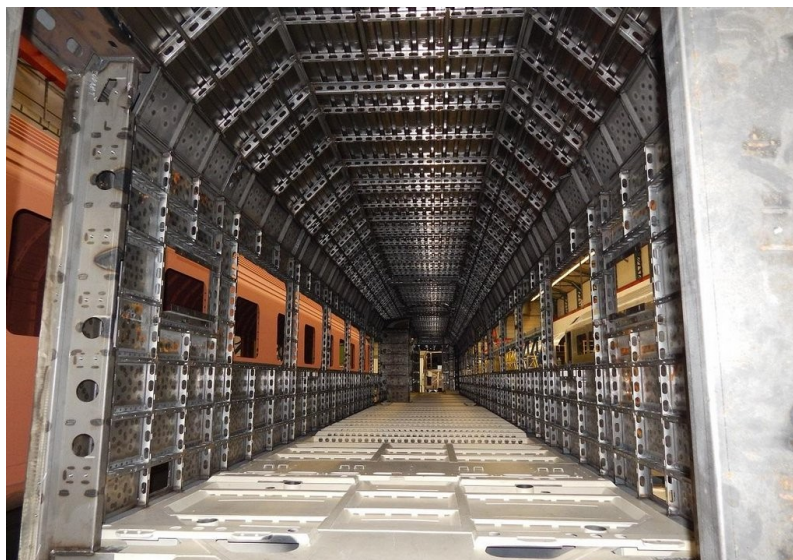
Hlediska a požadavky výběru [7]

- Dlouhá životnost (více jak 40 let)
- Technologické postupy při zpracování
- Ekonomika (hmotnost, spotřeba, pracnost, hygiena, recyklace)
- Dosažení hladkého rovného povrchu
- Odstranění míst koroze

Ocelová skříň

Z hlediska technologie výroby se dá hrubá stavba vozu z oceli nazvat stavbou diferenciální. Jednotlivé stavební celky (spodek, bočnice, čela vozu a střechy) jsou vzájemně upevňovány svařováním. Ocelová diferenciální stavba je tedy samonosného charakteru a její nejdůležitější oblastí je spodní část vozu. Zde kromě uložení podlahy z vlnitého či ohýbaného plechu jsou přenášeny podélné síly působící na spřáhlo. Nespornou výhodou celé koncepce je její snadná opravitelnost a údržba. V případě nehody

je možné jednotlivé části skříně demontovat a nahradit novými částmi bez poškození celistvosti a tuhosti skříně. Ovšem nevýhodou je celková pracnost výroby a snadná viditelnost nerovností (např. na bočnicích skříně). [7]



Obr. č. 13: Ocelová skříň vozu Railjet (zdroj: [13])

Skříň z hliníkových slitin

Hliníková stavba skříně přináší do drážní dopravy možnost nižší pracnosti výroby. Zde se používá stavba vozu integrální. Ta spočívá v použití profilů nepřerušené délky (tedy z jednoho kusu materiálu), které takto přicházejí již z výroby. Samotná skříň se svařuje pomocí speciální technologie z několika integrovaných profilů. Tyto profily v sobě obsahují drážky umožňující uchycení dalšího příslušenství a také vedení nutné kabeláže, přístrojových skříní a průběžného potrubí. Při srovnání hliníkové stavby s ocelovou stavbou vozu dojdeme k závěru, že při použití hliníkové stavby můžeme ušetřit velkou část hmotnosti. Hliníkový materiál váží méně a umožní nám úsporu hmotnosti v ideálních případech až 60% na jednotlivých vozech. Můžeme tedy mít větší užitečné zatížení vozu bez nutnosti dalších úprav podvozků pro velké zatížení.

Zajímavé je také cenové srovnání nákladů, viz tabulka č. 3.

Tabulka č. 3: Srovnání nákladů na konstrukci skříně [14]

Cenové srovnání	Ocelová skříň	Hliníková skříň
Skříň	100%	300%
Pracnost	100%	25-30%
Náklady na 1t užit. zatížení	100%	cca 90%

Pro osobní vozy a jednotky znamená použití hliníkové skříně nižší hmotnost a větší životnost, což je výhodnější i přesto, že vstupní investice je vyšší. Nevýhodou této koncepce je však nutnost použití čelních dílů z oceli pro vyšší bezpečnost při čelní srážce vozidel. Tato montáž čela zvyšuje pracnost celé konstrukce (viz obrázek č. 14).

V případě nehody a poškození hliníkové části skříně je také nevýhodou její nízká opravitelnost a tedy nutnost demontáže a nahrazení větších celků - poškozených dílů. V případě většího poškození je nezbytnou nutností výměna celé skříně nebo úplného zrušení drážního vozidla, protože náhrada jen části dílu u integrované konstrukce není možná. Použití je vhodné u jednopodlažních i dvoupodlažních jednotek, také u vozidel vysokorychlostních.



Obr. č. 14: Montáž čelního dílu vozidla pro el. jednotku RegioPanter (zdroj: [15])

1.4 Aerodynamické vlivy

Aerodynamické vlivy můžeme rozdělit na [16]:

- Aerodynamický vliv na vozidlo
- Aerodynamický vliv na cestující na nástupišti
- Aerodynamický vliv na osoby pohybující se podél tratě

Aerodynamický vliv na vozidlo

Výhodou železničních vozidel je bezesporu to, že oproti individuální automobilové dopravě překonáváme odpory působící na železniční vozidlo jen jednou (nezáleží na délce soupravy), zatím co u silničních vozidel musí odpory proti pohybu překonat každé z jednotlivých vozidel. Průjezd vlaku způsobuje nepravidelné proudění vzduchu s proměnným tlakem a rychlostí proudění. Změna rychlosti proudění a tlaku vzduchu má vliv nejen na samotné kolejové vozidlo, ale také na předměty a osoby pohybující se podél tratě. Je nutné také zmínit, že vliv rychlosti vlaku a samotného proudění vzduchu způsobuje aerodynamický klopný moment, který může ovlivnit stabilitu kolejových vozidel. Vozidlo je tedy třeba dimenzovat nejen na čelní odpor vzduchu, ale také na ten, který může působit na bočnici kolejového vozidla. [16]

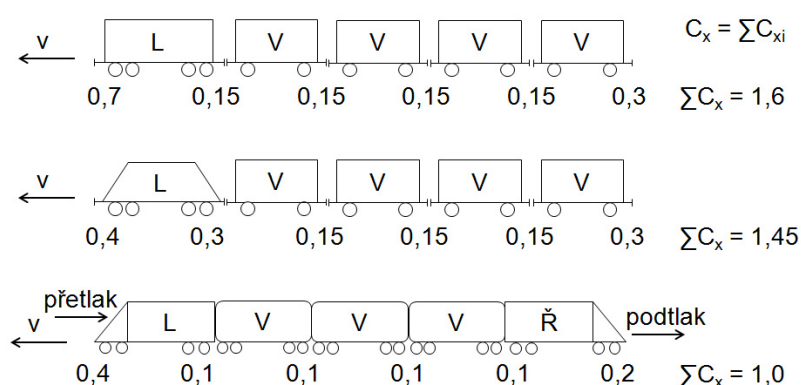
$$F_{ae} = p_{dyn} \cdot C_x \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_x \cdot S \quad [N] \quad (8)$$

kde:

F_{ae}	Aerodynamický odpor	[N]
p_{dyn}	Dynamický tlak	[N]
C_x	Činitel tvaru	[-]
S	Čelní plocha vozidla	[m ²]
ρ	Měrná hmotnost vzduchu	[kg/m ³]
v	Rychlost vozidla	[m/s]

Činitel tvaru vozidla C_x hraje důležitou roli ve výsledné síle aerodynamického odporu. Uvedme si teď tři příklady odlišných souprav, které můžeme vidět na obrázku č. 15. První ze souprav může představovat lokomotivu (L) ř. 363 (nazývanou též „Eso“) se soupravou oddílových osobních vozů (V) Bee²⁴³. Protože lokomotiva nemá tvar skříně v aerodynamickém provedení, je odpor čelní plochy vozidla velký a zapříčiňuje poměrně větší odpor celé soupravy. Druhou soupravu si můžeme představit pouze s tím rozdílem, že vyměníme tažné vozidlo za jiné. Nahradíme jej lokomotivou (L) 1216 (nazývanou též „Taurus“), která již byla vyvíjena pro snížený aerodynamický odpor vozidla. Nevýhodou se nám ovšem v tomto případě jeví větší aerodynamický odpor mezi vozy soupravy a samotnou lokomotivou. Konvexní snížení profilu skříně v místě kabiny

strojvedoucího zapříčiní větší víření vzduchu v místě spřažených vozů a lokomotivy. Poslední soupravu si můžeme představit jako elektrickou trakční jednotku „ICE 2“. Souprava je tvořena lokomotivou (L) vloženými vozy (V) a řídicím vozem (Ř) na konci soupravy. Tvar soupravy zajišťuje jak snížení odporu vzduchu v místě, kde jsou spřaženy jednotlivé vozy, tak na konci soupravy díky tvaru řídicího vozu. Přechody mezi vozy jsou konstruovány jako tlakové, tudíž je vidět také mírné snížení odporu vzduchu mezi vozy. Pokud porovnáme mezi sebou tyto tři varianty, zjistíme, že tvorbou jednotek jsme schopni snížit aerodynamický odpor vozidla o čtvrtinu původní hodnoty. Důležité je také zmínit, že snížení aerodynamického odporu je vhodné jak u regionálních jednotek pro lepší rozjezd, tak i u dálkových pro celkové snížení nákladů na provoz.



Obr. č. 15: Obrázky činitelů tvaru jednotlivých souprav vozidel (zdroj: [17])

Aerodynamické zatížení při míjení vlaků

Míjení dvou vlaků vytváří aerodynamické zatížení pro oba vlaky. Níže uvedený požadavek ohledně tlakového zatížení v otevřeném prostoru umožňuje definovat mezní aerodynamické zatížení při míjení dvou vlaků. To je třeba vzít v úvahu pro účely konstrukce kolejových vozidel za předpokladu vzdálenosti osy koleje 4 m.

Kolejová vozidla jedoucí v otevřeném prostoru rychlostí vyšší než 160 km/h nesmí při průjezdu čela vlaku způsobit, aby maximální změny tlaku mezi špičkami překročily hodnotu 720 Pa v rozmezí výšky od 1 m do 3,3 m nad temenem kolejnice a ve vzdálenosti 2,5 m od středu trati. [16]

Sestava ověřovaná pomocí zkoušky je specifikovaná níže pro různé typy kolejových vozidel [16]:

- Vozidlová jednotka posuzovaná v pevné nebo předem definované sestavě (samostatná vozidlová jednotka pevné sestavy nebo jakéhokoli uspořádání předem definované sestavy)
- Vozidlová jednotka posuzovaná pro použití v běžném provozu (vlaková sestava, která není ve fázi návrhu definována)
- Vozidlová jednotka vybavená kabinou strojvedoucího musí být posuzována samostatně
- Ostatní vozidlové jednotky: pro ně požadavek neplatí

Maximální kolísání tlaku v tunelu

Pro konvenční železniční systém TSI infrastruktura transevropského konvečního železničního systému nestanoví žádnou cílovou hodnotu pro minimální plochu tunelů. Z tohoto důvodu nejsou pro tento parametr harmonizované požadavky na úrovni kolejových vozidel a není požadováno žádné posouzení. Je – li však třeba, musí být zohledněny provozní podmínky kolejových vozidel v tunelech (mimo oblast působnosti této TSI). [16]

Boční vítr

Charakteristika větru, kterou je třeba vzít v úvahu pro účely konstrukce kolejových vozidel: nebyla dohodnuta žádná harmonizovaná hodnota (otevřený bod).

Metoda posouzení: Normy, které jsou vytvářeny za účelem harmonizace těchto metod, nejsou dosud k dispozici (otevřený bod). Aby byly k dispozici potřebné informace pro potřeby definice provozních podmínek (mimo oblast působnosti této TSI), musí být charakteristika bočního větru (rychlost) zohledněná při konstrukci kolejových vozidel a používaná metoda posouzení (podle případných požadavků vnitrostátních předpisů dotyčného členského státu) vedeny v technické dokumentaci.

Provozní podmínky mohou zahrnovat opatření na úrovni infrastruktury (ochrana před větrem) nebo provozu (omezení rychlosti). [16]

Aerodynamický vliv na cestující na nástupišti

Kolejová vozidla jedoucí v otevřeném prostoru maximální provozní rychlostí, která je větší než 160km/h, nesmí při průjezdu způsobit překročení rychlosti proudění vzduchu přes hodnotu 15,5m/s ve výšce 1,2 m nad nástupištěm a ve vzdálenosti 3 m od osy koleje.

Vlaková sestava, která bude nasazena na zkoušku, je specifikována dle typu kolejových vozidel:

- Vozidlová jednotka posuzovaná v pevné nebo předem definované sestavě

Zkouška bude prováděna v plné délce sestavy nebo v její maximální délce, která je definována. (tj. testován bude maximální počet vozidlových jednotek, které je dovoleno spráhnout)

- Vozidlová jednotka posuzovaná pro použití v běžném provozu (vlaková sestava, které není ve fázi návrhu definová) : Otevřený bod [16]

Aerodynamický vliv na osoby podél tratě

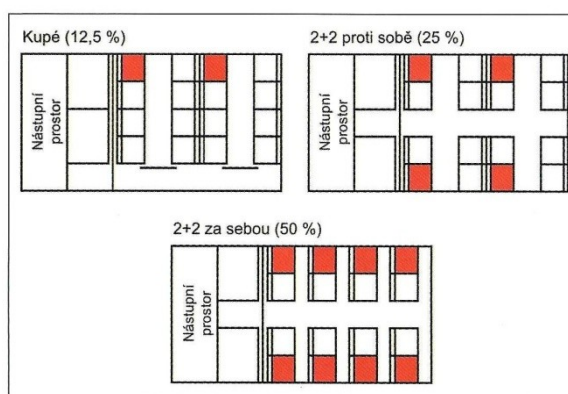
Kolejová vozidla jedoucí v otevřeném prostoru svou maximální provozní rychlostí, která je větší jak 160 km/h nesmí při průjezdu způsobit překročení rychlosti proudění vzduchu přes hodnotu 20 m/s u trati ve výšce 0,2 m nad temenem kolejnice a ve vzdálenosti 3 m od osy koleje.

Vlaková sestava, která bude nasazena na zkoušku, je specifikována dle typu kolejových vozidel viz výše. [16]

1.5 Obsaditelnost vozidel

Dalším parametrem, který je u železničních vozidel pro osobní dopravu důležitý, je jeho obsaditelnost. V posledních letech se mění nejen uspořádání jednotlivých vozů, ale také se stále zvyšuje komfort cestujících. Vozy jsou klimatizovány, tlakotěsně upraveny a ve vyšších třídách je možné také polohovat jednotlivá sedadla. Proto se konstrukce kolejových vozidel zaměřuje na nová řešení interiéru vozidel, která by plně vyhovovala požadavku cestujících. My se nyní budeme zabývat zejména obsaditelností vozidel.

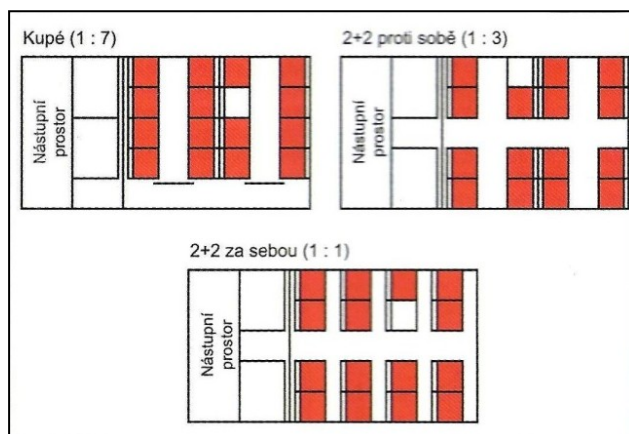
Železniční vozidla určená pro přepravu osob (trakční a netrakční vozy/jednotky) prošla významným vývojem koncepce uspořádání interiérů. Od původního tradičního uspořádání s kupé, tedy oddílových vozů, bylo upuštěno a začaly se konstruovat vozy velkoprostorové s uspořádáním sedadel 2+2 proti sobě. Důvodem pro tyto změny vznikly, byl záměr zvýšit obsaditelnost jednotlivých vozů. Nejlepšího výsledku však dosáhlo velkoprostorové uspořádání vozu 2+2 za sebou. Díky této koncepci se železniční vozidla začínají podobat leteckému uspořádání sedadel. Rozdíly mezi uspořádáním jednotlivých koncepcí můžete vidět na obrázku č. 16, kde je zobrazeno také procentuální obsazení míst při obsazení jedním cestujícím. [18]



Obr. č. 16: Vývoj koncepce uspořádání interiéru (zdroj: [18])

Výhodou velkoprostorových koncepcí je také fakt, že je takový prostor možné lépe klimatizovat, dosáhnout lepší cirkulace vzduchu, a tedy i pohodlí cestujících. Zároveň velkoprostorové uspořádání umožňuje jednoduše informovat cestující o poloze vlaku (rychlosti vlaku, následujících stanicích, ...). Tyto informační panely mohou být umístěny buď na stěnách či nad středovou uličkou ve vozidle.

Velkoprostorové uspořádání sedadel také umožňuje cestujícím, aby měli přehled o zbývajících volných místech ve voze. Cestující by si přál cestovat sám. Ovšem pokud to není možné, raději využije druhé sedadlo v uspořádání, kde jsou 2+2 sedačky za sebou a má tedy možnost si přisednout (resp. není mu to tolik nepříjemné jako v zaplněném kupé). Obsazení jednotlivých míst můžeme vidět na obrázku č. 17. Volné místo je vždy zobrazeno bílou barvou.



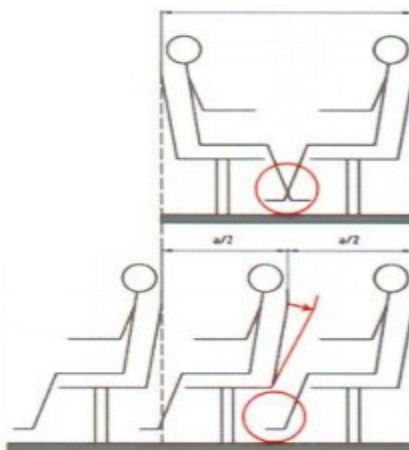
Obr. č. 17: Hledání posledního místa (zdroj: [18])



Obr. č. 18: Interiér velkoprostorového vozu netrakovní jednotky Railjet (zdroj: Autor)

Výhody velkoprostorového uspořádání

- Při stejné podélné rozteči jednotlivých sedadel nabízí uspořádání 2+2 sedadel za sebou lepší pohodlí a komfort než sedadla uspořádaná proti sobě. Viz obrázek č. 19.



Obr. č. 19: Velkoprostorové uspořádání sedadel (zdroj: [18])

- Cestující má možnost využít sklopný stolek umístěný v opěradle předchozího sedadla. Není tedy třeba se o stolek dělit s ostatními spolucestujícími. Stolek také nepřekáží při příchodu či odchodu cestujícího je integrován.
- Okolní cestující jsou méně rušeni vzájemným hovorem, sedí-li spolucestující vedle sebe.
- Výhodou, zejména pro ženy, je uspořádání 2+2 za sebou, protože umožňuje mít větší soukromí. Cestující nemá pocit, že je spolucestujícím prohlížen a sledován.
- Větší pocit bezpečí jednotlivých cestujících.
- Z pohledu provozního a ekonomického má vlaková četa lepší přehled o dění ve voze, snadněji probíhá úklid či pohyb cateringu. V neposlední řadě je zde snadnější vytápění - spotřebujeme méně energie.

Nevýhody velkoprostorového uspořádání

- Nemožnost nastavení individuální teploty a osvětlení vozu
- Vyšší hlučnost a pohyb cestujících

1.6 Dveře železničních vozidel

Mezi důležité prvky železničního vozidla patří bezesporu dveře. I když je považujeme za samozřejmé, jsou na ně kladeny velké nároky ať už z pohledu bezpečnosti, funkčnosti či z pohledu výměny cestujících.

Dveře můžeme dělit:

Dle použití:

- Externí (výstup a nástup cestujících)
- Interní (slouží pro rozdělení interiéru či oddělení nástupních prostor)
- Mezivozové (oddělení jednotlivých vozů z hlediska hluku, ale i požární ochrany)

Dle počtu křídel dveří

- Jednokřídlé (většinou použití v dálkové dopravě)
- Dvoukřídlé (příměstská doprava – větší výměna cestujících)

Základní funkce a požadavky dveří pro cestující:

- Musí být minimalizován přístup tepla do vozu i z vozu
- Musí být udržovatelné mytím a mycími prostředky

- Musí mít definované požární vlastnosti
- Musí být zaručená dlouhodobá stálost funkce
- Musí být zajištěna bezpečnost cestujících při provozu vozidla – zavírání, otevírání ale i při provozu (nouzové otevírání, zajištění za jízdy)
- Zaručená systémová kompatibilita

Hlavním požadavkem na dveře železničních vozidel je především bezpečnost cestujících. Vyhláška č. 352/2004 Sb. o provozní a technické propojenosti Evropského železničního systému a předpisu TSI 2011/21/EU říká, že dveře vozidla určené pro nástup a výstup cestujících musí mít zabudovaný systém otevírání a zavírání dveří zaručující bezpečnost cestujících. Zajištění dveří proti otevření musí proběhnout nejpozději při překonání rychlosti 3 km/h a musí být blokovány fyzickým zařízením. Strojvedoucí musí mít možnost kdykoliv zkontrolovat, zda jsou všechny dveře zavřené a zajištěné. Tuto kontrolu mu umožňuje vykonat palubní systém zobrazený na displejích v kabině strojvedoucího. V případě, že by se strojvedoucí pokusil o rozjezd s vlakem při otevřených dveřích, systém mu tuto rozhodnutí neumožní vykonat z důvodu bezpečnosti cestujících a zablokuje trakční funkce vozidla. Dveře vozidla musí být zavřeny a zajištěny až do jejich odjištění v souladu s požadavkem na otevření dveří. V případě, kdy dojde ke ztrátě napájení ovládacího systému, dveře vozidla musí zůstat zajištěné blokovacím mechanismem. Výjimku tvoří nouzové otevírání dveří, které musí být funkční za každé situace, a umožnit tak cestujícím opustit vozidlo. Dveře vozidla musí být také vybaveny průhlednými okny, která umožní cestujícím zjistit přítomnost nástupiště. Po uzavření dveří nesmí zůstat žádný z nástupních prvků aktivní (stupačky, madla), aby se cestující nemohl držet vozidla z vnější strany.

Dveře také musí odolávat všem povětrnostním vlivům a respektovat podmínky provozu, zejména je důležité brát v úvahu:

- Rozsah teplot (zohlednit i vliv přímého slunce)
- Vlhkost
- Prašnost prostředí
- Výskyt ledu, sněhu atd...
- Musí být odolné proti dešti i proti tlaku mycí vody
- Musí odolávat všem přípustným provozním zatížením (tlakotěsnost, tlakopevnost)
- Musí být normalizován vstup hluku dovnitř vozidla



Obr. č. 20: Zkouška dveřního systému jednotky při teplotě -15 °C (autor: [19])

Volba velikosti a umístění dveří

V dnešní době je velký důraz kladen na rychlost výměny cestujících ve vozidle. Tyto požadavky se liší podle toho, zda se jedná o vozidlo dálkové nebo používané v regionální dopravě. Tento fakt je logický, neboť výměna cestujících u vozidla obsluhujícího například příměstský a městský provoz je nezbytně nutně větší než u vozidla dálkového, kde se výměna cestujících předpokládá po delším časovém úseku respektive po větší vzdálenosti, která čítá několik desítek kilometrů. Volbou nevhodně umístěných dveří či jejich velikostí můžeme dosáhnout výrazného snížení cestovní rychlosti. Proto je nutné znát účel a plánované nasazení už při návrhu samotného vozidla. Od tohoto požadavku se odvíjí volba počtu dveří v bočnici a z toho vyplývající nároky, které budou kladeny na hrubou stavbu vozové skříně.

Vypočíst takzvanou „dveřnatost“ vozidla můžeme pomocí vzorce č. 9.[20] Výsledkem nám bude hodnota procentuálního podílu dveří ku délce vozidla.

Dveřnatost

$$d = \frac{\sum b}{l} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

kde:

b – šířka dveří [mm]

l – délka bočnice [mm]

Umístění dveří je opět odlišné podle typu provozu jednotlivých jednotek. U dálkových jednotek jsou dveře umísťovány stále do prostoru představku vozu, z důvodu snadnějšího oddělení nástupních prostor od prostorů pro cestující. U regionálních jednotek je však trend opačný. Vzhledem k tomu, že chceme mít výměnu cestujících co nejrychlejší, dveře jsou umístěny ve střední části vozu z důvodu nízkopodlažnosti a tedy snazší výměny cestujících bez nutnosti překonávání schodů do vozidla.

Blíže se tomuto problému budeme věnovat v následující podkapitole.

1.7 Bezbariérovost vozidla

Významným požadavkem na dnešní regionální a dálková železniční vozidla je jejich bezbariérovost.

Bezbariérovost vozidla můžeme rozdělit na [21]:

- Vnější bezbariérovost
- Vnitřní bezbariérovost

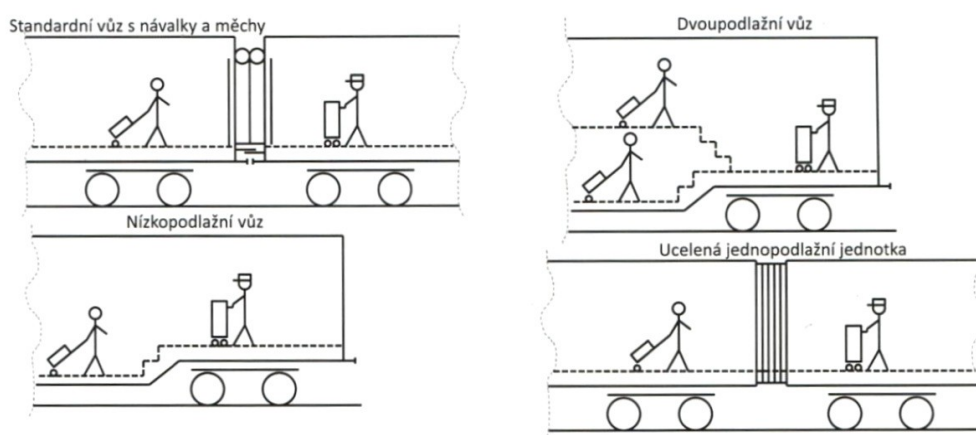
Vnější bezbariérovost

Tato vlastnost umožňuje zrychlit výměnu cestujících na zastávkách a ve stanicích. Tím se zkrátí technologické doby pro výstup a nástup cestujících. Jsme jí schopni docílit, pokud výška hrany nástupiště dosahuje 550mm. Je tedy třeba stavebních úprav jednotlivých nástupišť ve stanicích. V dnešní době se při modernizacích s bezbariérovostí počítá a výška nástupiště 550mm se stává standardizovaným rozměrem. Díky zkrácení doby výměny cestujících se nám též zvýší cestovní rychlost. Výhodou je také kratší pobyt vlaku na širé trati a tedy uvolnění dopravní cesty pro další vlaky (ať už osobní či nákladní dopravy). Železnice se také stává více přístupná pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace.

Stavební úpravy však nejsou jedinou změnou potřebnou pro celkovou bezbariérovost železnice. Změny se týkají také koncepcí jednotlivých vozidel. Uzpůsobit je třeba pohony, podvozky, vozové skříně a také rozmístění jednotlivých komponentů, na které díky snížení vozidla nezbylo místo. Umístění některých prvků na střechu vozidla umožnilo zlepšení vlastní aerodynamiky vozidla. [21]

Vnitřní bezbariérovost

Rozdílem mezi železničními vozidly regionální dopravy a dopravy dálkové je fakt, že regionální doprava vyžaduje bezbariérovost v prostorách nástupu pro co nejrychlejší výměnu cestujících. U dálkové dopravy tento fakt není tolik podstatný. Vlak musí urazit co největší vzdálenost a vyžaduje se zejména bezbariérovost uvnitř vozidla. Je tedy důležité zajistit, aby se cestující, catering či vlaková četa mohli pohybovat v rámci podélné osy vozidla bez překážek, jak je vidět na obrázku č. 21. Pokud bychom dokázali vytvořit kompromis mezi bezbariérovostí vnější a vnitřní, vytvořili bychom tak podle dnešních požadavků „ideální“ vlak. [21]



Obr. č. 21: Vnitřní bezbariérovost jednotlivých vozidel (zdroj: [22])

1.8 Průjezdny průřez a obrys pro konstrukci vozidla

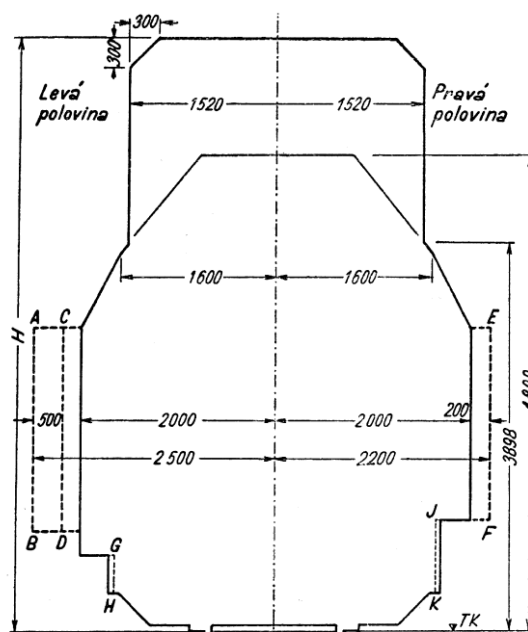
Důsledky vzájemné vazby vozidla na kolej, respektive na trať a její strukturu, musí být plně respektovány při návrhu rozměrů kolejového vozidla. Příčné průřezy musí být omezeny tak, aby byla vyloučena kolize částí vozidla s pevnými částmi staveb a infrastruktury. Omezujícími vlivy rozměrů vozidla jsou především svislé a příčné pohyby, vyplývající z použitého způsobu vypružení vozidla a tolerance geometrické změny polohy vozidla v koleji. Otázka zajištění bezpečného průjezdu vozidla je vždy společným úkolem výrobce a provozovatele vozidla. Výrobce musí zajistit, aby konstrukčním řešením vozidla byly za provozu vozidla důsledně dodrženy požadované provozní technické parametry vozidla. Provozovatel musí naopak zajistit, aby stavba a její infrastruktura nepřekročila linii průjezdného průřezu.

Definice průjezdného průřezu

Průjezdný průřez můžeme slovním způsobem definovat různě:

„Obrys obrazce v rovině kolmé k ose koleje, jehož osa je kolmá ke spojnici temen koleje a jehož pohybem ve směru osy koleje vzniká volný prostor zajišťující bezpečnou jízdu vozidla.“ [23]

„Tvar plochy kolmé k ose koleje, přes který nesmí vozidlo v dovoleném stavu opotřebení nebo ložení přesahovat v přímé trati vůbec, v obluku $R < 250$ m pouze o přesně stanovené min. hodnoty.“ [14]



Obr. č. 22: Průjezdný průřez dle ČSN 28 0315 (zdroj: [24])

V jednoduchosti si průjezdný průřez můžeme představit jako neviditelný tunel, jímž mohou vozidla volně projíždět. Vše okolo trati musí být mimo tento pomyslný tunel a nesmí do něj jakkoliv zasahovat (např. budovy, nástupiště, návěstidla, stromy, stožáry trolejového vedení aj...). V České republice tvar a rozměr průjezdného průřezu definují tyto normy [25]:

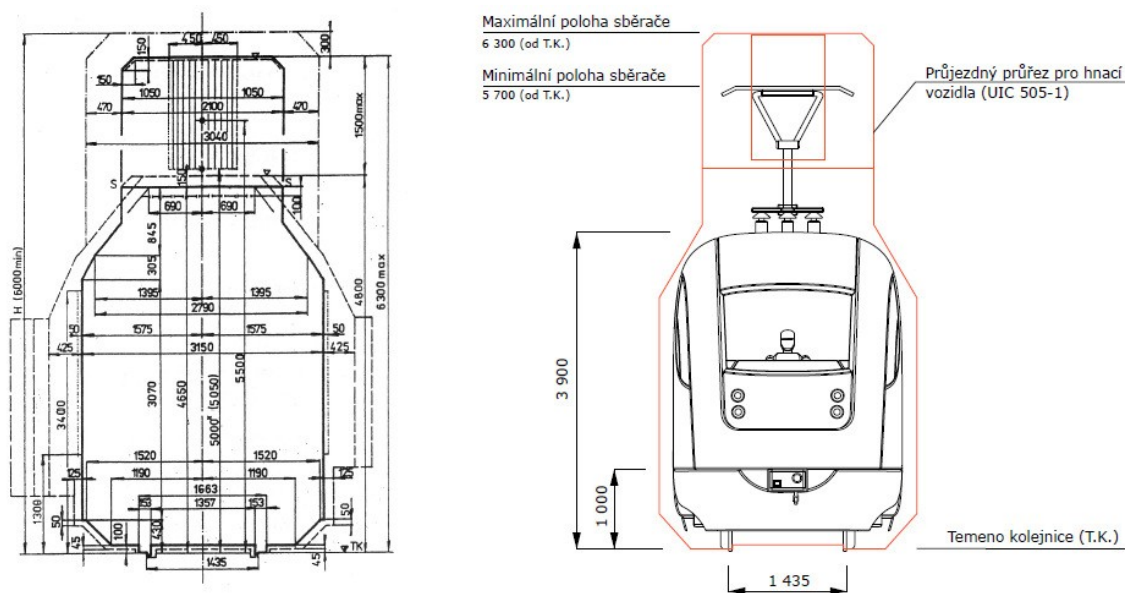
- ČSN 28 0315
- ČSN 73 6320
- UIC 505-1

Dodržováním průjezdného průřezu je zabezpečeno, že za žádných (mimo mimořádné) okolností nemůže dojít ke kolizi jedoucích vozidel s objekty podél trati. Nemůže se tedy

stát, že by se hnací vozidla při odjezdu ze stanice srazila s odjezdovým návěstidlem, či by nástupní schůdky při příjezdu vlaku do stanice jakýmkoliv způsobem poškozovaly hranu nástupiště a podobně. Uvnitř průjezdného průřezu se nachází obrys vozidel.

Obrys vozidel

Jak již bylo řečeno výše, součástí průjezdného průřezu je obrys vozidla. Tento obrys nám stanovuje vlastní příčný řez vozidla, tedy jeho základní rozměry, které musí vozidlo splňovat. Vozidlo musí být konstrukčně řešeno tak, aby nepřechňovalo hrany tohoto obrysu a umožnilo nám bezpečný pohyb drážního vozidla. Volba obrysu železničních vozidel je nezbytnou součástí každého nového návrhu vozidel. Je však třeba zmínit, že záleží také na délce vozidla a roztečích podvozkových čepů. Vozidlo z tohoto důvodu nekopíruje tvar obrysu přesně, ale musí být zúženo o předepsané hodnoty tak, aby ani při průjezdu obloukem nepřesahovalo tento průjezdný průřez. V současnosti jsou pro vozidla osobní dopravy využívány zejména obrysy UIC 505-1 (pro jednopodlažní jednotky) a obrys pro vozidla GC (pro dvoupodlažní jednotky). Ten je zahrnut do předpisu UIC 505-1 jako obrys pro vozidla s rozšířenou horní částí, která má za úkol docílit většího prostoru pro cestující v druhém patře bez ohrožení jejich bezpečnosti. Maximální šířka skříně je však pro všechny obrysy vozidel přibližně stejná.

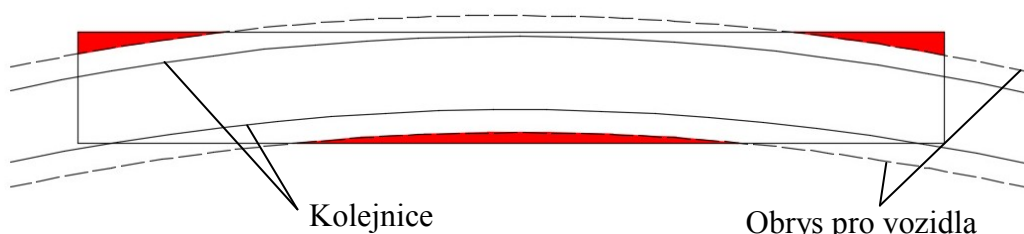


Obr. č. 23: Obrys vozidla dle UIC 505-1 (zdroj: [26])

Zúžení vozidla

Šířka vozidla však nezávisí jen na obrysu vozidla. Důležitá je i jeho délka. Čím je vůz delší, tím více musí být zúžen, aby nedošlo k situaci, že při průjezdu obloukem nám bude

zasahovat mimo obrys vozidla, a nevznikla tak kolizní situace. Obrázek č. 24 představuje půdorys vozidla pohybujícího se v oblouku koleje. V malých poloměrech oblouku se krajní části a středová část skříně vychylují a překračují obrys pro vozidla. Tato situace je nepříjemná, a proto je nutné upravit rozměr skříně tzv. zúžením. Horší situace nastává vždy u dlouhých vozidel, kdy je třeba vozidla zužovat více a tím zmenšovat prostor (šířku) pro cestující uvnitř vozidla. [7]



Obr. č. 24: Vozidlo při průjezdu obloukem (zdroj: Autor)

Výpočet se u železničních vozidel provádí pro přímou trať a pro oblouk $R = 250$ m (do tohoto oblouku se neupravuje rozteč kolejí), přičemž je výpočtovým vztahem kontrolována situace i ve směrovém oblouku $R = 150$ m. Výpočet se provádí vždy pro hodnotu jednostranného zúžení vozidla, tedy musíme tuto hodnotu při konstrukci vozidla započítat dvakrát, abychom docílili potřebného oboustranného zúžení vozidla.

Zkoumáme hodnoty jednostranného zúžení pro:

- Vnitřní zúžení E_a (pro části vozidla mezi otočnými čepy)
- Vnější zúžení E_i (pro části vozidla vně otočných čepů)

Pro výpočet zúžení je nutné znát [27]:

- Vzdálenost otočných čepů podvozků
- Rozchod dvojkolí
- Rozvor podvozků
- Poloměr kružnicového oblouku
- Vůle dvojkolí proti rámu podvozku
- Vůle rámu podvozku oproti rámu vozidla

Výpočtu se však v této práci věnovat nebudeme, protože je tato problematika značně rozsáhlá. Musíme si však uvědomit, že při konstrukci vozidel je nezbytně nutné se jí důkladně zabývat. Jejimi podrobnostmi se zabývá norma UIC 500, která stanovuje výpočtové vztahy pro jednotlivé typy vozidel. Standardizované zúžení podle UIC pro vozy

kategorie X a Z (běžná stavba vozu) bylo stanoveno na hodnotu 2 825 mm při použití délky skříně 26 400 mm a vzdálenosti mezi čepy podvozků na hodnotu 19 000 mm. Pokud bychom vyžadovali větší šířku skříně bylo by možné vyrobit vozy kratší například o 3 000 mm, kde bychom dosahovali hodnotu šířky skříně po zúžení cca 2 900 mm. [7]

Velmi malého zúžení dosahují motorové osobní vozy řady 810, které mají šířku skříně 3 120 mm. Zde je však důležité poznamenat, že maximální šířka skříně jde proti trendu velké obsaditelnosti a komfortu vozidla z důvodu zkrácení jeho délky. V evropských podmínkách tímto rozhodnutím nedocílíme zvýšení obsaditelnosti na rozdíl například od Ruska, kde je možné stavět z důvodu jiných obrysů vozidel, vzhledem k rozchodu kolejí 1520 mm, vozidla s uspořádáním 3 + 2 sedadla. Pro nás je vhodnější použití co největší délky vozu (26 400 mm) s uspořádáním sedadel 2+2 či kupé pro 8 cestujících (6 cestujících pro první třídu).

Rozdělení pohonů jednotek

Uspořádání pohonů elektrických trakčních jednotek je odlišné od klasické koncepce, kterou známe například z lokomotiv. Přesto je zde nutné uvést si základní dělení a označování jednotlivých typů pohonů.

Pohony se dělí na dva základní typy koncepce, jimiž jsou:

- Pohon konvenční
- Pohon distribuovaný

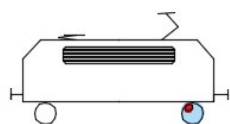
Pohon konvenční

Je pohonem, který pohání pouze hnací vozidlo. Veškeré hnací ústrojí je integrováno právě do tohoto vozidla, jež vyvíjí tažnou sílu. Tato koncepce je však u elektrických jednotek zastaralá. Umožňuje nám vyvíjet pouze takový výkon, kterého je schopno samostatné hnací vozidlo. Zbývající část vozidla (jednotlivé netrakční vozy) jsou taženy či tlačeny. V případě potřeby vyššího měrného výkonu je třeba využít až dvou lokomotiv na začátku vlaku a v případě potřeby, pro těžké vlaky, je nutné použití také postrku na konci vlaku. Nejen, že je tento způsob vozby vlaků neekonomický a neefektivní, ale také nám neumožňuje jízdu velkou rychlostí, kterou vyžadujeme u vysokorychlostní železnice. Vlak je zbytečně těžší o hnací vozidlo, které nemá užitečnou zátěž (viz kapitola 1.2).

Vyhláška UIC 612 předepisuje pro vozidla s dvojkolími uspořádanými v jednom rámu (rám podvozku nebo hlavní rám vozidla) toto označení [14]:

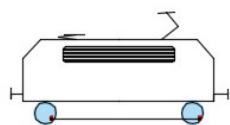
- Dvojkolí nehnaná (běžná) jsou označována arabskými číslicemi (1,2, ...). Toto číslo vyjadřuje jejich počet.
- Dvojkolí hnací jsou uváděna velkými písmeny (A, B, C, ...), jejichž abecední pořadí rovněž vyjadřuje jejich počet (A=1, B=2,)
- Při pohonu individuálním (samostatným pohonem každého dvojkolí) je připojen k názvu index o (např. Bo, Co)
- Pokud jsou tato dvojkolí na sebe vzájemně vázána v otáčivém pohybu (skupinový nebo ústřední pohon) je písmené označení uvedeno bez indexu
- Dvojkolí, která jsou vedena v samostatném rámu (podvozek), nezávislém na hlavním rámu vozidla, připojujeme k označení apostrof '
- Pro vozidla vícedílná, která jsou trvale spřažená, jsou jednotlivá označení spojena znaménkem +

Pro přehlednost si zde uvedeme nejčastější koncepce pohonů drážních hnacích vozidel. Tyto koncepce zahrnují jak vozidla rámová, tak i vozidla s podvozky:



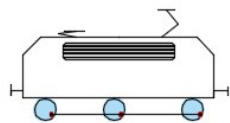
1A

Rámové dvou nápravové vozidlo s jedním dvojkolím běžným a jedním hnacím



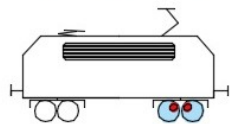
B

Rámové dvou nápravové vozidlo se skupinovým pohonem obou dvojkolí



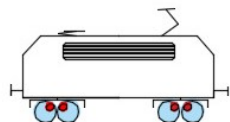
C

Rámové tří nápravové vozidlo se skupinovým pohonem všech dvojkolí



2'Bo'

Dvou podvozkové (4 – nápravové) vozidlo. Jeden podvozek běžný, druhý hnací s individuálním pohonem dvojkolí.



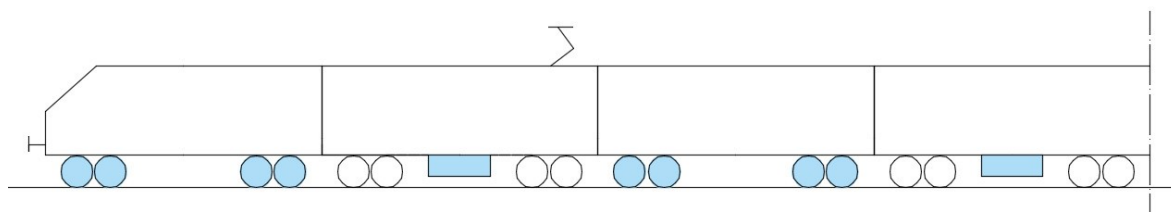
Bo'Bo'

Dvou podvozkové (4 – nápravové) vozidlo. Všechna dvojkolí hnací s individuálním pohonem dvojkolí.

Obr. č. 25: Schéma uspořádání konvečního pohonu dvojkolí (zdroj: Autor)

Distribučný pohon

Značení jednotlivých typů pohonů zůstalo jako jediné zachováno. Způsob pohonu však nikoliv. Vozidlo s distribuovaným pohonem jsou jednotky trakční – ucelené, které by ve většině případů při rozpojení jednotlivých vozů nemohly samostatně pracovat. Velkou výhodou vozidel s distribuovaným pohonem je možnost využití veškerého prostoru vlaku pro cestující bez nutnosti použití strojoven. Veškerá trakční výzbroj je umístěna mimo vozidlo a to buď pod podlahou, nebo na střeše vozidla. Díky tomuto rozdílu dovedeme ve většině případů snadno rozeznat rozdíl mezi vozidly regionálními (která mají výzbroj na střeše vozidla) a vozidly pro dálkový a vysokorychlostní provoz (výzbroj umístěna pod podlahou vozidla).



Obr. č. 26: Schéma vozidla s distribuovaným pohonem (zdroj: Autor)

Výhody [20]:

- 100% využití prostoru pro cestující (nejsou strojovny)
- Nižší hmotnost na dvojkolí (do 17t)
- Vyšší trakční výkon (až 20 kW/t)
- Vyšší podíl rekuperace
- Redundance (symetrie pohonu jednotky)

2 Návrh kritérií hodnocení elektrických trakčních jednotek

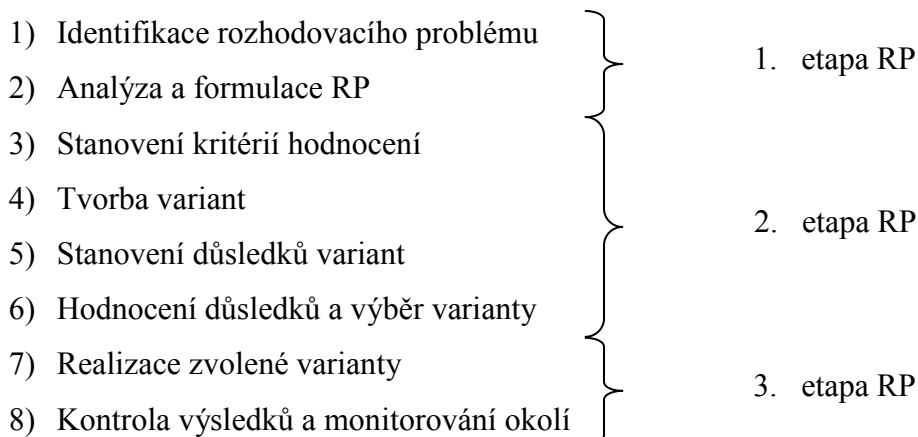
2.1 Obecně o vícekritériální analýze

Před samotným návrhem kritérií pro hodnocení elektrických jednotek je třeba zmínit teorii, podle které budeme tyto kritéria stanovovat. Vícekritériální rozhodování se v praxi používá pro řešení problémů (a to zejména na úrovni taktického a strategického rozhodování), pro které je charakteristickou nutností posuzovat a hodnotit varianty z více hledisek a jejich charakter je tedy posuzován jako vícekritériální (někdy také multikritériální). Například v oblasti investičního rozhodování se můžeme setkat s rozhodovacími problémy, jejichž varianty je třeba posuzovat a hodnotit z hlediska až několika desítek kritérií. Čím je počet kritérií (ale i variant) vyšší, tím je toto hodnocení obtížnější. Častou situací, zejména u problémů, které jsou strategické povahy, je existence smíšeného souboru kritérií. Tyto kritéria mohou být kvantitativní povahy (tj. jsou vyjádřena číselně) a jiná mají naopak charakter kvalitativní (tj. že důsledky variant vzhledem k těmto kritériím nelze jednoznačně kvantifikovat, ale můžeme je vyjádřit slovním popisem)

Přednosti vícekritériálního rozhodování [28]:

- Umožňují rozhodovateli posuzovat varianty vzhledem k rozsáhlému souboru kritérií
- nutí rozhodovatele, aby vyjádřil svoje chápání důležitosti jednotlivých kritérií hodnocení
- Celý proces hodnocení variant činí transparentním a jasným

Pro řešení rozhodovacího problému si můžeme obecný postup znázornit v jednotlivých krocích řešení [28]:



Podstatou rozhodovacího procesu je volba alespoň mezi dvěma možnostmi, dvěma variantami řešení. Kroky rozhodovacího procesu si můžeme rozdělit do tří etap rozhodovacího problému.

1. etapa

Skládá se ze dvou bodů rozhodovacího problému, které nám říkají, že je třeba rozhodovací problém identifikovat, tedy získat veškeré potřebné informace o problému, který vyžaduje řešení. Analyzovat ho, tedy provést hlubší poznání problémové situace, určit příčiny vzniku problému a jaký bude cíl jeho řešení. Tím docílíme formulace rozhodovacího problému do stavu, který můžeme řešit.

2. etapa

Je etapou, ve které probíhá samotné řešení rozhodovacího problému. Před začátkem hodnocení je třeba si stanovit kritéria hodnocení. Tedy co budeme hodnotit a zda se jedná o kritéria výnosového či nákladového typu a také zda se jedná o kvantitativní nebo kvalitativní kritéria. Snažíme se také o to, aby byl soubor kritérií pokud možno úplný s minimálním rozsahem kritérií a také, aby jednotlivá kritéria nebyla na sobě závislá nebo duplikovala jedno z již stanovených kritérií. Důležitou vlastností souboru kritérií je také jeho operacionalita, která nám zajistí, že každé ze stanovených kritérií bude mít jasný a jednoznačný smysl, a bude pro rozhodovatele plně srozumitelné. Ve chvíli, kdy již tento soubor kritérií máme stanoven, můžeme přejít k hodnocení vah kritérií a metodám hodnocení variant a vypočtení jejich užitku. Pokud jsme kritéria stanovili v minimálním rozsahu a vhodně, výsledkem procesu hodnocení pro nás může být:

- určení celkově nejvýhodnější (optimální) varianty
- určení tzv. preferenčního pořadí variant (tj. seřazení podle celkové výhodnosti jednotlivých variant, přičemž realizováno může být i několik variant z prvních míst tohoto uspořádání)

Stále však zůstává hlavní prioritou to, že výsledkem realizace zvolené varianty musí být efektivní řešení našeho problému.

3. etapa

Tato etapa již představuje praktické použití daného rozhodnutí (např. vybudování nové linky, nákup vozidla), kdy již vybranou variantu používáme. Tím ještě náš rozhodovací problém nekončí. Je třeba provést kontrolu dosažených výsledků vzhledem ke stanoveným

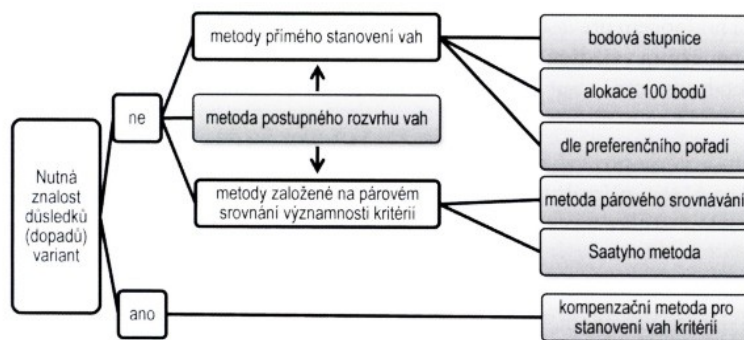
cílům, resp. ke stanoveným výsledkům řešení. V případě, že nedosahujeme žádaných výsledků, je třeba připravit a realizovat nápravná (korekční) opatření, která by dosáhla žádaných výsledků. V případě, že by tyto cíle byly nereálné (velký rozdíl hodnoty žádaných výsledků), je třeba je korigovat tak, abychom se této hodnotě pokusili přiblížit. Součástí této poslední etapy je také monitorování okolí. A to nejen z hlediska dopadů jeho změn na realizovanou variantu, ale i signálů svědčících o vzniku nových problémů, které bude zapotřebí řešit (vznik nové etapy č. 1 – identifikace problému).

My se nyní budeme zabývat etapou č. 2 – samotným řešením daného problému, spolu se stanovením kritérií a postupu řešení dle možných metod. U nich budeme zvažovat jejich následné použití v daném problému – výběr elektrické trakční jednotky.

2.2 Metody stanovení vah kritérií

Většina metod vícekritériálního hodnocení variant vyžaduje nejprve stanovit váhy jednotlivých kritérií hodnocení. Váhy kritérií (někdy též nazývané jako koeficienty významnosti) jsou číselným vyjádřením jejich významnosti. Představují důležitosti sledovaných cílů firmy, které jsou transformovány do jednotlivých kritérií. Čím je pro hodnotitele kritérium významnější, tím je jeho váha vyšší. A naopak, čím méně je kritérium významnější, tím je mu určena nižší váha. Aby byla dosažena srovnatelnost vah souboru kritérií, které můžeme stanovit různými metodami, musíme tyto váhy normovat tak, aby jejich součet byl roven jedné. Normování vah však není pravidlem u všech metod pro stanovení vah kritérií, například metoda alokace 100 bodů nebo Saatyho metoda, již poskytují váhy kritérií normované. Jsou-li výsledkem váhy nenormované, je třeba pro normování váhy každého kritéria stanovit podíl jeho váhy a součet vah všech kritérií. Pro lepší představu můžeme uvést vzorový výpočet pro normování vah. Předpokládejme, že pro soubor tří kritérií byly stanoveny váhy (3; 2; 1), pak výpočet normovaných vah bude vypadat následovně: (3/6; 2/6; 1/6) přičemž můžeme první dva zlomky ještě zjednodušit na výsledný tvar normovaných vah s hodnotami (1/2; 1/3; 1/6). Abychom ověřili správnost výsledku, můžeme výsledné hodnoty sečíst, zda se skutečně rovnají hodnotě jedna. Pokud výsledný součet souhlasí, pak jsme ve výpočtu nedopustili žádné chyby.

Dále si charakterizujeme některé metody pro stanovení vah kritérií. Jejich rozdělení můžete vidět na obrázku č. 27. Základní členění, které je zde uvedeno se liší v závislosti na potřebě znát jednotlivé důsledky (dopady) všech variant pro jednotlivá kritéria.



Obr. č. 27: Přístupy vícekritériálního hodnocení variant (zdroj: [29])

Pokud budeme uvažovat, že není nutné znát předem důsledky jednotlivých variant nebo je předem znát nemůžeme (což je například u výběrových řízení veřejných zakázek), pak lze využít tyto metody:

- Metody přímého stanovení vah (bodová stupnice, alokace 100 bodů a metoda preferenčního pořadí)
- Metody založené na párovém srovnávání významnosti kritérií (Párové srovnávání - někdy je tato metoda označována jako Fullerův trojúhelník, a metoda Saatyho)

Metody založené na párovém srovnání významnosti kritérií neumožňují dostatečně výrazné odlišení vah kritérií, nebudeme se jimi tedy dále zabývat.

Metody přímého stanovení vah kritérií

Tyto první tři metody stanovení vah kritérií (bodová stupnice, alokace 100 bodů a metoda preferenčního pořadí) mají společnou vlastnost, tedy že při stanovení jednotlivých vah kritérií dochází k posuzování jejich významnosti přímo a jedná se tedy již o jejich normovanou váhu.

Bodová stupnice

Stanovení vah kritérií první metodou spočívá v přiřazování určitého počtu bodů ze zvolené stupnice každému kritériu. A to v souladu s tím, jak rozhodovatel hodnotí význam každého kritéria. Bodovou stupnici volíme v závislosti na diferenci významnosti jednotlivých kritérií. Je tedy vhodné se před samotným hodnocením zamyslet nad vztahem nejvíce a nejméně významného kritéria, neboť ty nám budou určovat rozpětí naší stupnice. Příkladem stupnice s nižší rozlišovací schopností může být stupnice pětibodová (1, 2, 3, 4, 5). A naopak s vyšší rozlišovací schopností může být pro nás devíti bodová

stupnice (1,2, ..., 9). Čím je kritérium pro rozhodovatele významnější, přiřadí mu větší počet bodů. [29]

Metoda alokací 100 bodů

Podobného principu jako bodová stupnice využívá metoda alokací 100 bodů. Rozhodovatel má k dispozici 100 bodů, které musí rozdělit mezi jednotlivá kritéria v souladu s jejich významností. Váhu kritéria poté určují počty bodů, které mu byly přiděleny. Abychom tuto metodu mohli správně použít, musí hodnotitel dbát na to, aby vyčerpal přesně 100 bodů. Tato metoda je tedy obtížnější, než je metoda s bodovou stupnicí. Výrazněji obtížnější se tato metoda stává při použití velkého počtu kritérií, kde musíme docílit ohodnocení kritérií tak, aby byla zachována jejich důležitost a tedy jejich rozdílné ohodnocení. (Tedy, že velkému množství kritérií nepřidělíme stejnou hodnotu jejich významnosti. Pokud pro nás kritéria ve skutečnosti nejsou stejně významnými, mohlo by dojít ke zkreslení požadovaných výsledků.) [29]

Metoda preferenčního pořadí

Váhy jednotlivých kritérií stanovíme pomocí této metody tak, že si ji rozložíme na jednotlivé kroky [29]:

- Stanovení preferenčního uspořádání (to znamená, že si stanovíme pořadí významnosti jednotlivých kritérií, které budeme hodnotit)
- Určení vah kritérií porovnáním významu kritérií s kritériem, které je pro nás nejméně významným
- normování vah (jelikož tato metoda poskytuje váhy nenormované)



Obr. č. 28: Jednotlivé fáze metody preferenčního pořadí (zdroj: [29])

Preferenční pořadí (pořadí významnosti) jednotlivých kritérií můžeme stanovit dvěma způsoby [29]:

- Přímým uspořádáním určuje rozhodovatel přímo pořadí významnosti jednotlivých kritérií. Zde začíná rozhodovatel označovat kritéria od nejvýznamnějšího (toto kritérium pak zaujímá první místo v pořadí) až k nejméně významnému kritériu (to posléze zaujímá poslední místo v pořadí konkrétního hodnocení). Využití přímého uspořádání se jeví principiálně jako velmi jednoduché. Při použití v případě rozsáhlého souboru kritérií se však stává pro rozhodovatele velmi náročným, protože musí při stanovení pořadí kritérií současně posuzovat jejich význam v daném souboru.
- Etapové uspořádání umožňuje náročnost stanovení preferenčního pořadí značně snížit. Jak napovídá název, pořadí kritérií se stanovuje v několika etapách a to v závislosti na počtu kritérií. V každé etapě je nutno určit nejvýznamnější a méně významné kritérium, které se před další etapou ze souboru vyřadí. Postup poté opakujeme s již redukovaným souborem kritérií. V závěru můžeme nejvýznamnější kritérium zjištěné v i -té etapě označit jako m_i a nejméně významné kritérium ve stejné etapě označíme jako n_i . Výsledné pořadí kritérií je pak určeno jejich posloupností tedy $m_1, m_2, m_3, \dots, n_3, n_2, n_1$.

Ve fázi, kdy budeme určovat váhy kritérií porovnáním významu kritérií s kritériem nejméně významným, postupujeme tímto způsobem [29]:

- Nejméně významnému kritériu přiřadíme váhu 1 a rozhodovatel určí kolikrát je druhé nejméně významné kritérium preferenčního pořadí významnější než právě poslední nejméně významné kritérium.
- Nyní postup opakujeme i se třetím kritériem od konce, a dále se čtvrtým kritériem od konce dokud se nedostaneme ke kritériu prvnímu v preferenčním pořadí. Tomuto kritériu přiřadíme váhu tak, že porovnáme kolikrát je první kritérium významnější vzhledem ke kritériu, které je nejméně významné.

Nyní jsou naším výsledkem nenormované váhy, které je třeba před dalším použitím normovat.

2.3 Jednoduché metody stanovení hodnoty (užitku) variant

Vzhledem k relativně složité konstrukci dílčích funkcí užitku pro každé kritérium hodnocení, se v praxi často využívají jednoduché metody stanovení hodnoty (užitku) variant. Při aplikaci těchto metod dochází k určitému zjednodušení, které může vést v některých případech ke zkresleným výsledkům.

Tato skupina metod stanovuje celkové ohodnocení variant jako vážený součet dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím, tj. ve tvaru [29]:

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i \cdot h_i^j \text{ pro } j = 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

kde:

H_j Celkové ohodnocení (hodnota) j-té varianty

v_i Váha i-tého kritéria

h_j^i Dílčí ohodnocení j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu

n Počet kritérií hodnocení

m Počet variant

Na základě celkového ohodnocení variant je pak možné stanovit jejich preferenční uspořádání, kdy varianty jsou uspořádány dle sestupně klesajících hodnot celkového ohodnocení. Varianta, která je v preferenčním uspořádání na nejvyšším místě (tedy s nejvyšším ohodnocením), je pro nás variantou optimální.

Vzhledem k tomu, že jednotlivé verze metod, které se dají zařadit do skupiny jednoduchých metod stanovení hodnoty variant, se liší především způsobem, jakým stanovují hodnotu dílčího ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím, budeme dále věnovat pozornost těmto metodám. Nyní si ukážeme jednotlivé jednoduché metody stanovení hodnoty variant, resp. metody uvedeme ve sledu od metod nejjednodušších k metodám relativně složitějším [29]:

- Metoda váženého pořadí
- Metoda založená na přímé (expertním) stanovení dílčích ohodnocení
- metoda lineárních dílčích funkcí užitku
- metoda bazické varianty

Metoda váženého pořadí

U metody váženého pořadí se dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím určuje dle pořadí variant vzhledem k těmto kritériím.

Dílčí ohodnocení j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu následně stanovíme takto [29]:

$$h_i^j = m + 1 - p_i^j \quad (11)$$

kde:

m Počet variant

p_i^j pořadí j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu

Z tohoto vztahu plyne, že dílčí ohodnocení nejlepších variant z hlediska jednotlivých kritérií je rovno právě počtu kritérií. Dílčí ohodnocení nejhorších variant vzhledem k jednotlivým kritériím je pak rovno jedné. Jestliže je např. v hodnoceném souboru celkem 8 variant, pak varianty, které jsou nejlepší vzhledem k jednotlivým kritériím, tj. jsou na prvním místě pořadí, mají dílčí ohodnocení $8+1-1=8$ a varianty nejhorší, tj. na osmém místě pořadí, mají dílčí ohodnocení $8+1-8=1$. Jak z výše uvedeného vyplývá, je metoda váženého pořadí značně hrubá. Dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím vychází pouze z pořadí variant vzhledem k těmto kritériím. Tato metoda totiž neumožňuje rozlišovat rozdíly mezi hodnotami kritérií. Díky tomuto nedostatku může metoda váženého pořadí sloužit dobře jen v případě, budeme-li mít soubor kritérií kvalitativní povahy. Pro kritéria kvantitativní není tato metoda vhodná. [29]

Metoda přímého stanovení dílčích ohodnocení

Tato metoda vychází ze skutečnosti, že dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím určuje přímo hodnotitel (expert nebo rozhodovatel). A to tak, že zpravidla přiřadí body ze zvolené bodové stupnice. Nejčastější bodová stupnice, která vyjadřuje dílčí ohodnocení, je stupnice desetibodová, tj. 1, 2, ... 10. Je možné využít také „jemnější“ stobodové stupnice, tj. 1, 2, ... 100, kdy nejnižší ohodnocení znamená 1 bod a naopak nejvyšší ohodnocení by znamenalo přiřazení danému kritériu 100 bodů. Rozhodovatel postupuje při stanovení dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím tak, že na základě svých preferencí přiřazuje důsledkům variant (číslo u kvantitativních kritérií a slovním popisům u kvalitativních kritérií) určité

počty bodů ze zvolené bodové stupnice. Přednost této metody stanovení hodnoty variant je především to, že hodnotitel může zvláště při volbě dostatečně jemné bodové stupnice respektovat nelinearitu závislosti dílčích ohodnocení variant na jejich důsledcích (tj. pracuje vlastně s nelineárními dílčími funkcemi užitku, i když tyto funkce nejsou vyjádřeny v explicitním tvaru). Další výhodou je jednoduchost a srozumitelnost jejího pochopení pro hodnotitele.

Určitým nedostatkem této metody je však vyšší náročnost na hodnotitele. Vzhledem k tomu validita celkového ohodnocení variant závisí především na kvalitě a kompetenci hodnotitele. Je zde značná míra subjektivity výsledků, což ale v řadě situací nemusí být nedostatkem. [29]

Metoda lineárních dílčích funkcí užitku

U této metody stanovujeme dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím odlišně, a to v závislosti na povaze kritérií.

- U kvalitativních kritérií se dílčí ohodnocení stanovuje jako v předchozím případě, tj. že jednotlivým kritériím přiřadíme body ze zvolené bodové stupnice.
- U kvantitativních kritérií se vychází z předpokladu, že odpovídající dílčí funkce užitku mají lineární tvar. Což znamená, že hodnotitel si musí cenit přírůstek hodnoty tohoto kritéria stále stejně.

$$h_j^i = \frac{x_i^j - x_i^0}{x_i^* - x_i^0} \quad (12)$$

kde:

x_i^j hodnota j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu

x_i^0 nejhorší hodnota vzhledem k i-tému kritériu

x_i^* nejlepší hodnota vzhledem k i-tému kritériu

Předností této metody stanovení hodnoty variant proti předchozí metodě je, že snižuje subjektivitu stanovení dílčích ohodnocení variant vzhledem ke kvantitativním kritériím (přímo, tj subjektivní posouzením, se stanovují pouze dílčí ohodnocení variant vzhledem ke kvalitativním kritériím). Přitom předpoklad linearity dílčích funkcí užitku je zpravidla přijatelný, neboť některé empirické výzkumy ukazují, že takto získané celkové ohodnocení

je zpravidla dobrou aproximací ohodnocení plynoucího z funkce užitku respektující možné nelinearity dílčích funkcí užitku. [29]

Metoda bazické varianty

Tato metoda je založena na stanovení dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím pomocí porovnání hodnot důsledků variant s hodnotami tzv. bazické varianty.

Bazickou variantu můžeme chápat dvěma způsoby:

- varianta, která dosahuje nejlepších hodnot kritérií z daného souboru variant
- varianta, která nabývá pro jednotlivá kritéria právě požadovaných (předem stanovených - cílových) hodnot. Někdy se můžeme setkat též s označením bazické varianty jako standard, ideál nebo ethalon.¹¹

Jestliže důsledky bazické varianty vzhledem k jednotlivým kritériím označíme v souladu s naší symbolikou jako x_i^b , kde $i = 1, 2, \dots, n$, pak dílčí ohodnocení variant vzhledem ke kritériím výnosového typu stanovíme dle vztahu [29]:

$$h_j^i = \frac{x_i^j}{x_i^b} \quad (13)$$

Dílčí ohodnocení variant vzhledem ke kritériím nákladového typu stanovíme dle vztahu:

$$h_j^i = \frac{x_i^b}{x_i^j} \quad (14)$$

kde:

x_i^b hodnota bazické varianty vzhledem k i-tému kritériu

x_i^j hodnota j-té varianty vzhledem k i-tému kritériu

Hodnota bazické varianty se však v souboru kritérií liší podle typu kritéria (není vždy stejná). Při stanovení dílčího ohodnocení variant vzhledem ke kritériím výnosového typu dosazujeme za hodnotu bazické varianty x_i^b nejvyšší hodnotu i-tého kritéria. U stanovení dílčího ohodnocení variant vzhledem ke kritériím nákladového typu je však nutné dosadit za hodnotu bazické varianty x_i^b nejnižší hodnotu.

¹¹ Soubor důsledků bazické varianty se pak označuje jako etalonvektor.

Určitým nedostatkem této metody je rozdíl v přínosu pro hodnotitele, kdy pro hodnoty kritérií výnosového typu předpokládáme lineární růst přínosu pro hodnotitele při stejných přírůstcích hodnot kritérií, avšak u kritérií nákladového typu se předpokládá pokles přínosu při stejných přírůstcích hodnot těchto kritérií. I přes tento nedostatek je tato metoda nejčastěji využívána k hodnocení dílčích funkcí užitku souborů kritérií, které jsou zejména kvantitativní. Významným důvodem pro užití této metody je skutečnost, že změny hodnot kritérií jsou úměrné změnám užitku. Výsledné hodnoty nejsou získávány formou subjektivního expertního ohodnocení, ale stejným výpočtem pro všechna kritéria souboru. [29]

2.4 Návrh kritérií pro elektrickou trakční jednotku

Kritéria, které můžeme použít pro hodnocení elektrických trakčních jednotek je spousta. Naším úkolem je vytvořit takový soubor kritérií, který bude adekvátní našemu problému. Pro zjednodušení je můžeme rozdělit do tří kategorií kritérií:

- Technické parametry vozidla
- Efektivita vozidla
- Údržba vozidla

Technické parametry vozidla

Jak již samotný název vypovídá, jedná se o kritéria zaměřená na samotný pohyb a konstrukci vozidla. Mezi tyto kritéria patří například: rozchod vozidla, spotřeba energií, rychlost, výkon, hmotnost, zrychlení vozidla a další... Tyto kritéria obsahují také kritéria KO neboli kritéria, která nám mohou z hodnocení vyřadit určitou variantu ještě před samotným hodnocením (typickým příkladem zde může být rozchod vozidla).

Efektivita vozidla

Tato kategorie kritérií je úzce spojena s technickými parametry vozidla. Nezabývá se již podmínkami na kolejové vozidlo z pohledu jízdy, ale zaměřuje se na kritéria z pohledu cestujícího (bezbariérovost vozidla) či samotného provozu (zda je koncepce push-pull či nikoliv).

Údržba vozidla

Tato kategorie kritérií je oproti dvěma předešlým značně specifická. Zde je pro nás důležitá schopnost udržovat vozidlo po celou dobu jeho životnosti, dostupnost náhradních

dílů (minimálně po dobu 30 let) a současně docílit co nejmenších nákladů za údržbu se zaručenou bezporuchovostí vozidla. Je pro nás tedy důležité znát tyto kritéria:

- Náklady životního cyklu (LCC)
- Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)

V rámci návrhu kritérií hodnocení jsme se zaměřili na kritéria technická a efektivitu vozidla. První informace o možných požadavcích na drážní vozidlo budeme čerpat z ministerstva dopravy České republiky. To udává požadavky (z pohledu objednatele) na kvalitu a vybavení drážních vozidel, se kterými se chtějí dopravci ucházet v rámci nabídkového řízení, o pronájem dráhy v určitém úseku. Tyto požadavky se liší dle reálných podmínek, které jsou v dané lokalitě nejvíce zapotřebí. V tomto souboru požadavků na drážní vozidlo se nacházejí kritéria jak efektivní tak i technická. Počet kritérií si vhodně zredukujeme o kritéria méně významná, která by nám zbytečně ztěžovala a prodlužovala hodnocení.

Získáme tak soubor kritérií, který můžeme rozdělit do dvou částí:

- Rozhodující kritéria
- Doplnková kritéria

Rozhodující kritéria

Jsou složeny ze dvou skupin kritérií. Z kritérií efektivních a technických parametrů vozidla. Jedná se o kritéria, která jsou z našeho pohledu nejdůležitější při rozhodování výběru mezi jednotlivými vozidly:

- 1) Kapacita vozidla
- 2) Počet cestujících na 1 WC
- 3) Světlá šířka dveří k počtu sedadel pro cestující
- 4) Maximální rychlost vozidla
- 5) Průměrná hmotnost na nápravu
- 6) Dynamické vlastnosti vozidla
- 7) Hmotnost na sedadlo
- 8) Poměrný počet trakčních dvojkolí
- 9) Vnitřní bezbariérovost
- 10) Vnější bezbariérovost

Doplňková kritéria

Jedná se o kritéria složená zejména z kritérií zařazených v efektivitě vozidla. Tyto kritéria nemusí být pro nás významná buď vůbec, nebo jen částečně.

- 1) Počet míst 1. třídy
- 2) Použitelné napájecí systémy
- 3) Komfort cestujícího (Zásuvky 230V/ Wi-Fi)
- 4) Počet bezbariérových vstupů do vozidla
- 5) Počet míst pro kočárky a jízdní kola
- 6) Počet míst pro osoby na vozíku
- 7) Délka jednotky (počet cestujících na metr vozidla)
- 8) Oddělení nástupních prostorů pro cestující

I když jsou tato kritéria doplňková, mohou se za určitých podmínek stát kritérii rozhodujícími. Typickým zástupcem tohoto typu kritéria je délka jednotky - požadujeme co největší obsaditelnost v co nejkratší jednotce (např. z důvodu krátkého nástupiště).

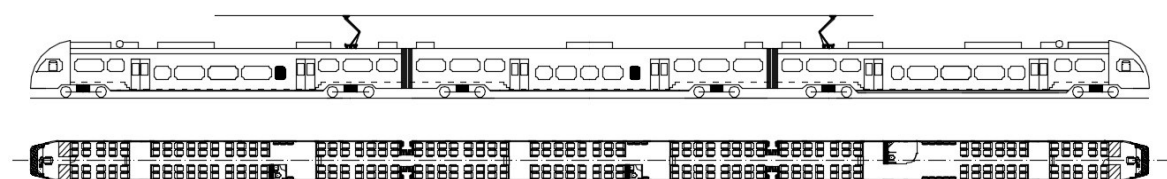
Aplikaci kritérií se budeme dále věnovat ve čtvrté kapitole.

3 Variantní provedení elektrické trakční jednotky

V předcházejících kapitolách jsme se věnovali elektrickým jednotkám obecně, bez ohledu na to, zda se jedná o jednotky vysokorychlostní, konvenční, trakční či netrakční. Abychom však mohli jednotky porovnávat, je třeba si zvolit jeden typ trakční elektrické jednotky a tím se nadále zabývat jak z pohledu variantního provedení, tak i z pohledu jejich vzájemného porovnání. Elektrické trakční jednotky chceme mezi sebou porovnávat zejména z pohledu účelu. Proto pro následující kapitoly této práce budeme navrhovat řešení elektrických trakčních jednotek určených pro regionální dopravu. Jednotky budeme navrhovat dle obrysu vozidla UIC 505-1 pro jednopodlažní jednotky a dle obrysu vozidla GC pro dvoupodlažní jednotky. Typové výkresy variantního provedení elektrických jednotek se nachází v příloze diplomové práce pod označením DP – JED – 1 a DP – JED – 2.

3.1 Jednopodlažní trakční jednotka

Při návrhu jednopodlažní jednotky bylo směřováno k co největší délce jednotlivých vozů (max. 26 400 mm). Proto není možné využití jacobsových podvozků (max. 19 000 mm). Výhodou skutečnosti, že bude mít každý vůz dva individuální podvozky je mimo využití maximální délky vozidla možnost snadné údržby. V případě závady na jednom z vozů můžeme jednotku snadno rozpojit bez nutnosti přípravků (složitého rozpojení z důvodu jacobsova podvozku, kde by bylo nutné funkční vůz podložit, aby nedošlo k jeho poškození).

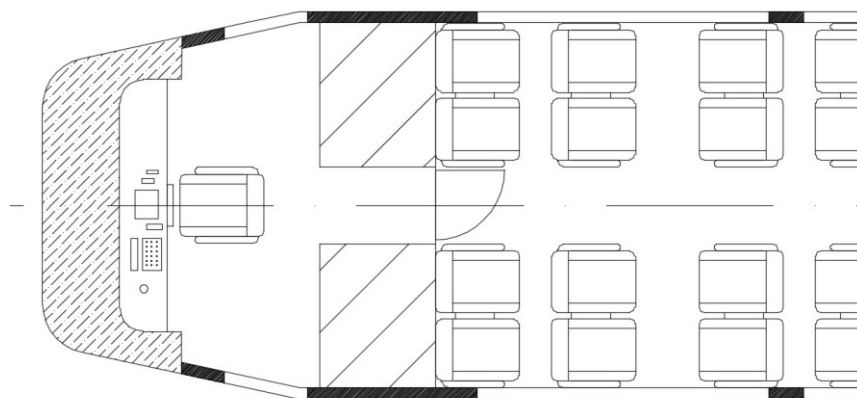


Obr. č. 29: Návrh jednopodlažní jednotky (zdroj: Autor)

Kabina strojvedoucího

Na čelech hlavových vozů jsou umístěna neprůchozí stanoviště strojvedoucího. Tato stanoviště jsou navržena na obsluhu jedním strojvedoucím. Budou klimatizována pro lepší bdělost strojvedoucího zejména v letních dnech (maximální teplota v kabině je stanovena na 23 °C). Řídící pult je orientován symetricky k podélné ose vozidla. K pultu přísluší pneumaticky vypružené sedadlo s možností seřízení výšky sedadla, sklonu opěrky

zad a sklopnými loketními opěrkami. Pracovní, rozhledové a další podmínky pro kabinu strojvedoucího budou odpovídat požadavkům vyhlášky UIC 617-7.



Obr. č. 30: Kabina strojvedoucího s částí vozu (zdroj: Autor)

Stanoviště strojvedoucího je přístupné pouze dveřmi z interiéru vozidla, které jsou uzamykatelné pro zamezení vstupu nepovolaných osob. Čelní okno kabiny strojvedoucího je zaskleno bezpečnostním sklem. Použité sklo musí po stránce pevnosti vyhovět zkoušce dle TNŽ 28 5201. Při zkoušce je nepřípustná tvorba střepin z vnitřní strany skla směrem ke strojvůdci. Pro pocit bezpečí strojvedoucího tohoto vozidla je minimalizován počet oken v kabině. V důsledku tohoto rozhodnutí je docíleno větší pevnosti (dle normy EN 12 663) a bezpečnosti kabiny. Vnější pohled na jednotku je zajištěn pomocí kamerového systému na obou stranách vozidla. Použitím tohoto systému je eliminována potřeba „vyklánění se z vozidla“ nebo použití zrcátek pro sledování průběhu nástupu cestujících. Boční okýnka byla z provozních důvodů zachována pro komunikaci se zaměstnanci dráhy. V kabině strojvedoucího musí být běžné, ale i nouzové osvětlení pro případ výpadku energií dle vyhlášky UIC 651 a normy TNŽ 28 5201. Návěsní světla a světlomety na čelech vozidla jsou rozmístěny dle vrcholů rovnoramenného trojúhelníka. Na nevyšším vrcholu tohoto pomyslného trojúhelníku je umístěno poziční světlo vlaku. Na základně trojúhelníku jsou umístěna potkávací a dálková světla spolu se světelnou koncovou návěstí vozidla.

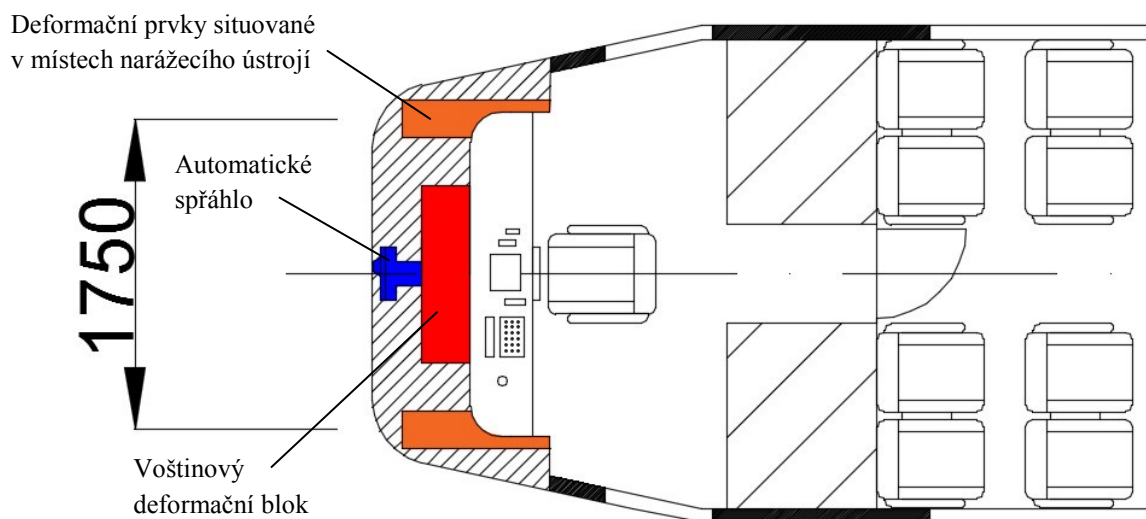
Je důležité se také zaměřit na bezpečnost vozidla z pohledu normy EN 15227. Pro pohlcení energie budou v kabině použity tyto prvky:

- Ocelové smetadlo se zvýšenou pevností
- Ochranná ocelová kostra kabiny strojvedoucího
- Deformační prvky situované v místech pro nárazecí ústrojí (tvarově podobné)

- Deformační blok ve výšce řídicího pultu strojvedoucího, který je tvořen voštinou¹² z ocelových plechů

Deformační prvky jsou umístěny uvnitř laminátové karoserie čela jednotky (viz obrázek č. 31). V případě porušení karoserie začnou bezpečnostní prvky pohlcovat energii získanou od překážky. Norma také říká, že je třeba pro kabinu řidiče zajistit alespoň jeden přilehlý prostor pro přežití, který nemusí být umístěn uvnitř kabiny, pokud je k němu bezprostřední přístup. Zde se tento prostor nachází za dveřmi kabiny, tedy v prostoru pro cestující. Ten bude vždy zachován, protože hlavním cílem bezpečnosti je bezpečí cestujících. Strojvedoucí se do tohoto prostoru může urychleně přesunout po aplikaci záchranné brzdy, má-li pocit bezprostředního ohrožení svého života dle nastalé mimořádné situace, a obavu zůstat na stanovišti strojvedoucího (např. vzhledem potenciálnímu nárazu ve vysoké rychlosti).

Kabina strojvedoucího je konstruována z oceli. To nám umožní v případě srážky snadnější opravu a výměnu dílů bez většího poškození celistvosti vlaku (crash modul). V případě nehody a čelní srážky vozidla s překážkou, pohltí část energie automatické spřáhlo spolu s deformačními prvky v prostorech nárazecího ústrojí vybavených protišplhy. Při silnějším nárazu začíná energii absorbovat čelní voštinový blok. Pokud je nárazová energie ještě větší, dojde k řízené deformaci ocelové kostry kabiny. Při výskytu nižší překážky může zaúčinkovat také smetadlo vozidla, které je dimenzováno na statické zatížení 300 kN (skryto v karoserii vozidla).

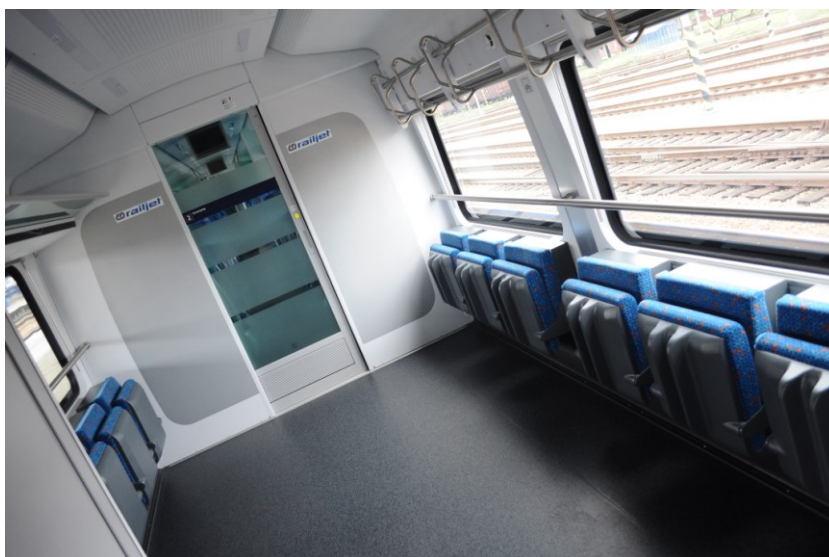


Obr. č. 31: Kabina strojvedoucího s deformačními prvky dle EN 15227 (zdroj: Autor)

¹² Materiál se šestibokou strukturou, která mu zajišťuje vysokou tuhost. Používá se zejména jako sendvičový materiál. Zde je materiál použitý samostatně, což umožňuje mít stejnou tuhost prvku bez velké hmotnosti.

Prostor pro cestující a bezbariérovost vozidla

Jednopodlažní jednotku navrhujeme s ohledem na maximální využití jejího prostoru. Středová část vozu je snížena na hodnotu 600 mm nad temenem kolejnice, aby se cestující při nástupu či výstupu nezdržovali v nástupních prostorech. Jsou zde také umístěny dvojce dvoukřídlé dveře s roztečí 1300mm. Prostor pro nástup a výstup cestujících je navržen na 1500 mm jak z důvodu většího prostoru v okolí výstupu a nástupu, tak z důvodu umístění elektroniky pro pohyb a zajištění dveří vozidla. V blízkosti nástupního prostoru jsou vždy u pravých dveří (vyjma hlavového vozu č. 3) stojany pro umístění 4 jízdních kol, nebo umístění kočárku, spolu se sklopnými sedačkami, které vymezují pohyb kola umístěného na stojanu pomocí středové drážky, o které se opírá zadní část jízdního kola.



Obr. č. 32: Prostor pro jízdní kola netrakovní jednotky Railjet (zdroj: Autor)

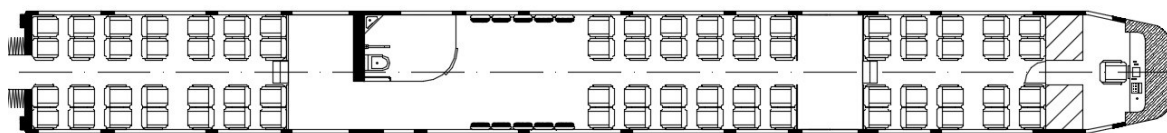
Tyto nástupní a víceúčelové prostory mohou být od prostoru pro cestující odděleny stěnou nebo přepážkou z bezpečnostního skla (umožňuje cestujícím lepší přehled o odložených věcech). Oddělení prostoru cestujících od nástupních prostor dveřmi však není nezbytně nutné.

Vozy jednotky jsou rozděleny do tří oddílů. Na začátku a na konci vozu jsou sedačky umístěny na vyvýšeném prostoru nad podvozkem. Z důvodu nutné úplné vnější bezbariérovosti pro rychlejší výměny cestujících, jsme nuceni mít vnitřní bezbariérovost pouze částečnou. Toto řešení není však pro většinu cestujících problémové. Sedadla určená pro přepravu osob se sníženou pohyblivostí jsou vymezena v nízkopodlažním oddíle, a to vždy 2 + 2 z každé strany. V hlavovém voze č. 3 je vymezena část středního prostoru vozu pro přepravu osob na invalidním vozíku. V bezprostřední blízkosti míst pro invalidy

je také umístěna univerzální toaleta dle norem TSI. Víceúčelový prostor může být také využit pro přepravu jízdních kol nebo pro rozšíření míst k sezení ve vozidle.

Sociální zařízení

Jelikož se jedná o příměstskou jednotku, není pro nás počet toalet nezbytně nutným parametrem. K tomu, aby vozidlo splňovalo požadavky předpisu TSI 2008/164/ES pro konveční vozidla, je třeba, aby byla jeho součástí univerzální toaleta. K těmto toaletám musí být z místa určeného pro invalidy zajištěn bezprostřední přístup. Toalety musí splňovat požadavky jak standardní, tak i univerzální toalety. Toaleta je umístěna do třetího hlavového vozu soupravy. Je-li v jednotce přepravována matka s dítětem, může využít přebalovacího pultu uvnitř bezbariérové univerzální toalety.



Obr. č. 33: Hlavový vůz č. 3 s univerzální toaletou (zdroj: Autor)

I když v provozu regionálních vlaků a jednotek není kladen důraz na vyšší potřebu toalet, použitím pouze jedné toalety pro vozidlo se vystavujeme velkému riziku. Při poruše této toalety se dostáváme do nepřijatelné situace, kdy by měl být vlak odstaven a nahrazen soupravou či jednotkou záložní. (V případě, že tento požadavek na náhradní jednotku není dodržen, může být značně sankcionován. Jedná se o porušení standardů kvality železnice¹³ a komfortu cestujících.)

Při výskytu závady, kterou zjistí systém toalety, toaletu uzamkne a zamezí tak přístup cestujícímu do doby, než ji prohlédne a opraví technik. Závad, které se zde mohou objevit, je hned několik. Pro ilustraci si uvedeme jen některé z nich. Závada na řídicí jednotce toalety, závada vakuového systému odsávání fekálií ze záchodové mísy, závada indikace zaplnění nádrže a závada na dveřním systému WC (pouze u univerzálních toalet). V tomto souboru závad nejsou zahrnuty závady způsobené nevhodným chováním a použitím cestujícího (např. vyhazování nevhodných předmětů do záchodové mísy a jejich splachování i přes varování vyznačené na štítcích).

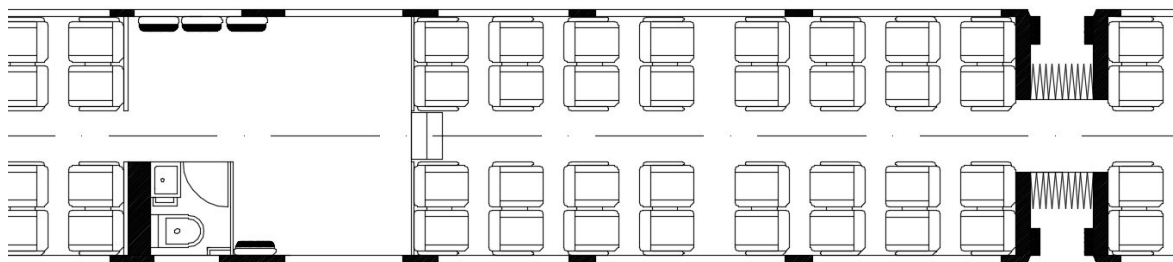
Z tohoto důvodu jsou pro tří vozovou jednotku navrženy tři toalety. Touto změnou nejen, že zvýšíme komfort cestujících, ale také spolehlivost jednotky. V případě poruchy

¹³ Požadavky plynoucí ze standardů kvality společnosti ČD a PID.

jedné či dvou toalet bude moci jednotka nadále pokračovat ve vozbě bez nutnosti odstavení. Porucha toalety bude signalizována na stanovišti strojvedoucího, který tuto skutečnost po konci směny vlaku nahlásí zaměstnancům domovské provozní jednotky (dále jen PJ), aby sjednali nápravu závady. Bude-li závada nesnadno odstranitelná, rozhodnou o nápravě zaměstnanci PJ s ohledem na údržbový plán vozidla.

Další výhodou navrženého umístění toalet do jednotlivých vozů jednotky je také možnost variabilní délky. Při použití vícevozové jednotky (4, 5, 6 vozů) docílíme vždy rovnoměrného rozložení cestujících na jednotlivé toalety.

Další výhodou použití více toalet rozmístěných mezi vozy je také to, že nebude třeba tak častého vyprazdňování odpadních nádrží. Pokud jednotka, která má pouze jedno WC absolvuje cestu do DKV cca po třech dnech¹⁴, při použití tří toalet můžeme dosáhnout počtu dnů rovnajících se jednomu týdnu (skutečnost se může lišit dle indikace stavu zaplněnosti nádrží). Tím dosáhneme menší potřeby personálu, který by tyto odpadní jímky vyprazdňoval. Zároveň ušetříme čas a energii (lidskou i vozidla), protože nebude třeba zajíždět tak často do DKV ke stanovišti, kde se odpadní voda odčerpává.

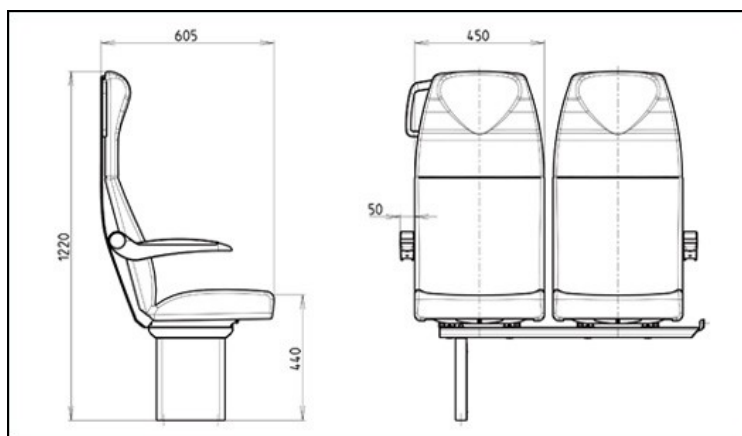


Obr. č. 34: Standardní toaleta ve vloženém voze č. 2 (zdroj: Autor)

Sedadla ve vozidle a jejich rozmístění

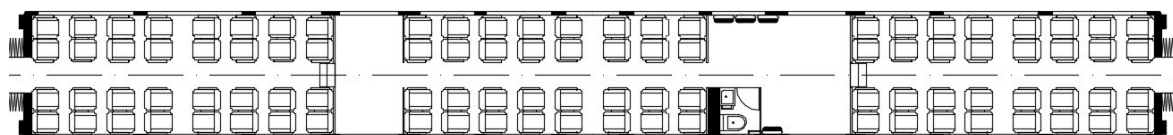
Sedadla pro regionální jednotku byla zvolena od firmy Borcad cz s.r.o. s homologovaným řešením vlakových sedadel typu REGIO (dle požadavků zákazníka s potřebou vyššího komfortu cestujících by bylo možné využít sedadel REGIO +). Hlavními přednostmi sedadel typu REGIO je jejich pevnost a bezpečnost požadovaná normou UIC. Velkou předností je snadná oprava a výměna dílů, variabilita komponentů (např. použití středové opěrky), a také hmotnost sedadla, která činí pouhých 12,5 kg.

¹⁴ V průměru jednu toaletu použije 100 cestujících denně (zdroj: Elogistika.info – Toalety ve vlacích to byla tragédie.



Obr. č. 35 : Vlakové sedadlo REGIO (Zdroj:[30])

Vozy jednotky budou koncipovány jako velkoprostorové s uspořádáním 2+2 sedačky za sebou. Toto uspořádání je voleno zejména z důvodu praktičnosti a psychologie cestujících, kteří chtějí většinou cestovat sami a mít svůj prostor pro odpočinek. V případě plné obsazenosti jednotky jsou také schopni jednoho cestujícího vedle sebe lépe tolerovat. Uspořádání míst 2+2 proti sobě nebyly zcela vyřazeny. Pro cestování rodin s dětmi či menších skupin jsou tyto místa umístěny vždy ve středu a na krajích jednotlivých vozů (výjimku tvoří řídicí vůz s bezbariérovou toaletou, kde jsou tato místa umístěna pouze na krajích vozu). Použití sedadel 2+2 proti sobě umožňuje také elegantní řešení v místech, kde by cestující musel celou cestu sedět proti stěně vozidla, či by předním byl umístěn otevřený prostor (například nástupní prostory vozidla), a tedy by se necítil bezpečně a komfortně.



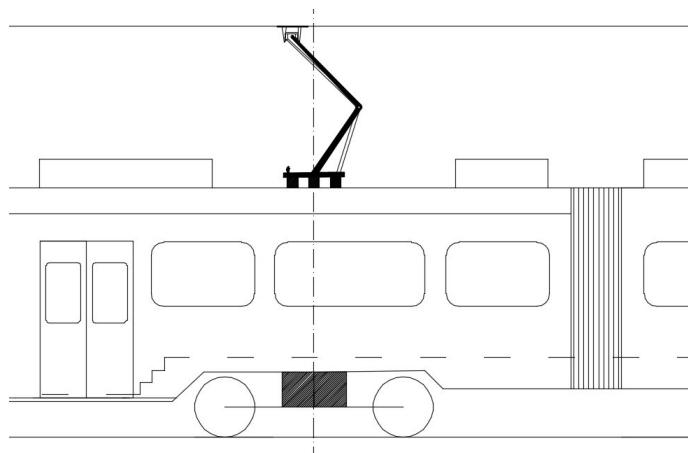
Obr. č. 36: Velkoprostorové uspořádání vloženého vozu jednotky (zdroj: Autor)

V tomto návrhu trakční jednotky není počítáno s potřebou první třídy. Tak jako v MHD cestující využívají dopravu na kratší vzdálenosti a tedy je použití první třídy zbytečné. V regionální dopravě, kde jsou nyní řazena vozidla s první třídou, se používá v případě potřeby větší kapacity zrušení první třídy. Cestujícím je umožněno v této třídě cestovat i s jízdním dokladem do druhé třídy. V ostatní dny zůstává první třída neobsazená, či obsazena jedním až dvěma cestujícími. Pokud by dopravce i přes tyto fakta první třídu vyžadoval, bylo možné ji ve vozidle vytvořit. Pro tyto účely by byla použita první část hlavového vozu č. 1 s uspořádáním 2 + 1 a větší roztečí sedadel. Záměrné umístění první třídy do čela vlakové jednotky má za cíl oddělení jednotlivých skupin cestujících a docílení

co největšího komfortu a ticha, který cestující v první třídě vyžaduje. Bylo by nevhodné umístit první třídu například do nízkopodlažního prostoru, kde očekáváme častou výměnu cestujících. Pro tuto třídu by také bylo vhodné použití sedadel typu REGIO+ (v případě, že použijeme pro druhou třídu sedadla REGIO).

Napájení vozidla z troleje

Navržená elektrická jednotka používá pro přenos energie z troleje polopantograf (dále jen sběrač), který je umístěn v zadní části hlavového vozu. Z důvodu redundance, tedy vzájemného nahrazení jednotlivých součástí jednotky je však jednotka vybavena dvěma sběrači (vždy jeden na jeden hlavový vůz). V případě, že jeden se sběračů signalizuje poruchu (např. „propálení“ uhlíku - dojde tedy k uvolnění vzduchu ze zvedacího válce a sběrač se navrátí do stažené polohy), druhý sběrač, který v systému vozidla vykazuje stav připraven, se zvedne a nahradí již nefunkční sběrač číslo jedna. Vozidlo může pokračovat v jízdě standardním způsobem. Sběrač jsem umístil nad osu podvozku vozidla z důvodu, že při jízdě obloukem by při vybočení vozidla a klikatosti troleje mohlo dojít ke skluzu troleje mimo plochu sběrače (tedy by mohlo dojít nejen k jeho poškození, ale také ke stržení troleje).



Obr. č. 37: Umístění sběrače na hlavovém voze jednotky (zdroj: Autor)

Protipožární ochrana vozidla

V oblasti požární ochrany vozidlo vyhovuje normě EN 45545. Je tedy zajištěna maximální míra bezpečnosti jednak použitím vhodných nehořlavých materiálů (např. sedadla splňující požadavky na odolnost proti hoření dle vyhlášky UIC 564, aj.) při výrobě vozidla, a také systémy pro rychlou detekci zdroje požáru. Strojvedoucí je informován pomocí zvukové a vizuální signalizace na displeji ovládacího pultu, která mu umožňuje zjistit místo vzniku požáru. K lokalizaci požáru (mimo vizuální

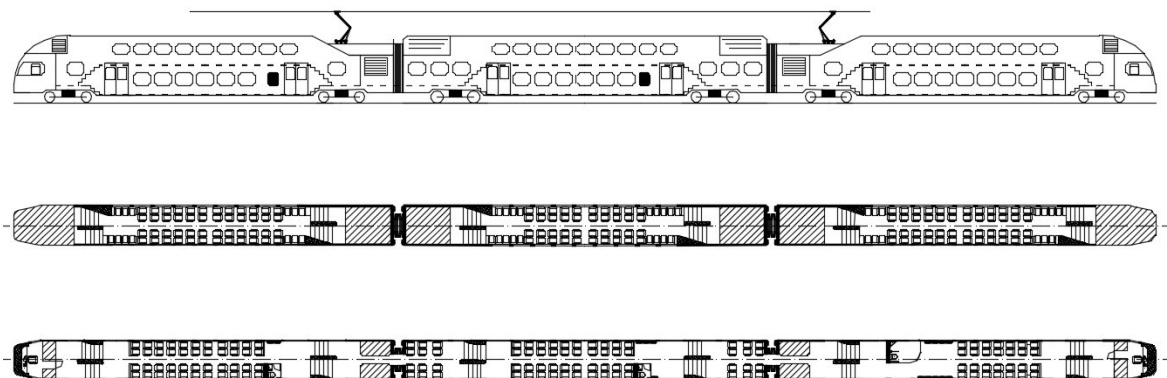
indikaci na displeji ovládacího pultu) je možné také využít kamerového systému. Jednotka je vybavena mezivozovým přechodem s protipožárními dveřmi. Ty se v případě požáru uzavřou a zabrání tak průniku zplodin do dalších částí vozidla (přesto zbylým cestujícím umožňují průchod do bezpečí). V případě bezprostředního ohrožení cestujících je elektrická trakční jednotka schopna zastavit pomocí velmi účinných brzd na krátké vzdálenosti a umožnit tak evakuaci cestujících.

3.2 Dvoupodlažní trakční jednotka

Koncepce dvoupodlažní jednotky se od jednopodlažní liší zejména v umístění výzbroje. Hlavním problémem, který bylo třeba vyřešit, je efektivní využití prostoru vozidla pro cestující. Na rozdíl od jednopodlažní jednotky nemůžeme využít 100% interiéru vozidla. Bylo zde nutné umístit elektronické zařízení zajišťující provoz a to vzhledem k průjezdnému průřezu GC, podle kterého toto vozidlo navrhujeme, není možné vně vozidla, ale musíme tuto výzbroj umístit dovnitř vozidla.

Abychom využili co nejvíce prostoru uvnitř vozidla, bylo třeba navrhnout dvoupodlažní jednotku jako jednosystémovou - stejnosměrné trakce 3kV. Prostory pro umístění trafo pro střídavou trakci jsou ve vozidle nedostatečné. Pokud bychom chtěli dosáhnout možnosti dvousystémové jednotky, bylo by nutné výrazně zmenšit prostor vozidla pro cestující a tím tuto jednotku velmi znevýhodnit. Jednotka dosahuje obsaditelnosti o 20% větší než u elektrické trakční jednotky jednopodlažní. V případě, že bychom chtěli využívat toto vozidlo jako vícesystémové, bylo by ho možné navrhnout jako netrakční jednotku s možností použití libovolné lokomotivy umožňující dálkové řízení (toto alternativní řešení však není pro nás žádoucí).

Koncepce dvoupodlažní trakční jednotky vychází z předešlého návrhu jednopodlažní trakční jednotky (viz kapitola 3.1). V následujícím textu se budeme zabývat pouze skutečnostmi, ve kterých se jednotky navzájem liší.



Obr. č. 38: Návrh dvoupodlažní jednotky (zdroj: Autor)

Koncepce dvoupodlažní jednotky se opět zaměřuje především na bezpečnost vozidla. Na rozdíl od jednopodlažní jednotky bude konstruována z ocelových profilů, které budou obloženy plechy. Tímto krokem se zvýší bezpečí cestujících v případě kolize a také sníží případná cena za obnovu jednotky. Důraz na zvýšenou bezpečnost vychází z nehody, která se stala 28. června 2010 v Ústí nad Labem. Dvoupodlažní jednotka City Elefant zde vykolejila a první vůz jednotky byl „rozpárán“ o betonový pilíř v blízkosti tratě (viz obrázek č. 39).

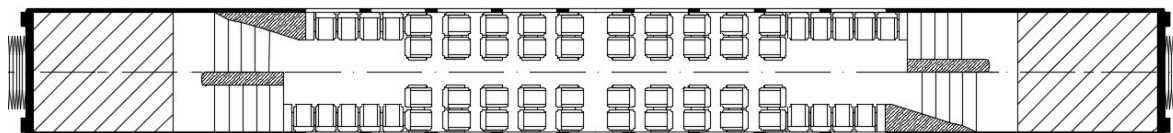


Obr. č. 39: Nehoda dvoupodlažní jednotky City Elefant (zdroj: [31])

Také je třeba zmínit vyšší polohu těžiště, což může značit větší tendenci k převrácení vozidla v případě nehody. Je tedy třeba zajistit bezpečnost a pohodlí cestujících na takové úrovni, aby nebyli cestující a personál vlaku bezprostředně ohroženi na životech.

Sedadla ve vozidle a jejich rozmístění

Prostory na krajích vozů jsou použity jako prostory pro schodiště a umístění elektronické výzbroje. Prostory pro cestující jsou umístěny v prvním podlaží pouze ve středu jednotlivých vozů. Zde máme opět vymezen prostor pro cestující se sníženou schopností orientace a pohybu a to vždy 2+2 z každé strany oddílu. Výjimku tvoří vůz vložený, který jako netrakový může využít volného prostoru na krajích vozu pro cestující – je zde umístěno 12 míst. Je zde použito jednoho páru sedadel 2+2 proti sobě a to z důvodu bezpečnosti cestujícího. Poslední sedadla, blíž schodišti, jsou umístěna proti směru jízdy. To má za následek jak vytvoření „zábrany“ v případě prudkého brzdění, tak i navození pocitu bezpečí cestujícího, protože nesedí směrem do otevřeného prostoru vozu jednotky. Druhé podlaží vozů je opět vytvořeno ze sedel 2+2 za sebou a sedadel umístěných stranou ke směru jízdy. Takové umístění sedadel má jedno důležité opodstatnění a to, že se cestujícího snažíme navést do druhého podlaží co nejblíže nejvyššího místa stropu vozu, které je uprostřed. Nedocílíme však středového umístění schodiště a proto je třeba na krajích umístit sedadla stranou ke směru jízdy. Cestující tak bude mít dostatek prostoru k tomu, aby se vozem mohl dále pohybovat a pokračovat středovou uličkou. Cestující sedící stranou ke směru jízdy nebudou výrazně rušeni ani jim nebude brán jejich osobní prostor. Typ sedadel byl opět zvolen stejný - REGIO (viz kapitola 3.1).

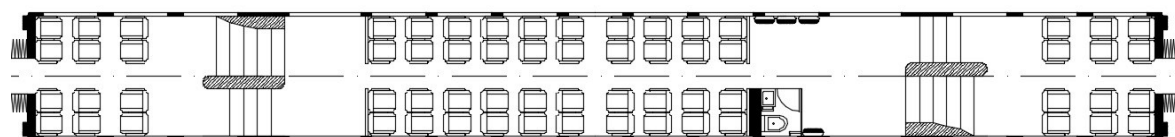


Obr. č. 40: Druhé patro vloženého vozu jednotky (zdroj: Autor)

Prostor pro cestující a bezbariérovost vozidla

Dvoupodlažní jednotka je navržena tak, aby byl co nejvíce využit její volný prostor, který nezabírá technika umístěná uvnitř vozů. Středová část vozu je snížena na hodnotu 600 mm nad temenem kolejnice, aby se cestující při nástupu a výstupu nezdržovali na schodišti. Tím je u vozidla zajištěna vnější bezbariérovost, a to u všech nástupních prostor. Dveře určené pro nástup a výstup cestujících jsou dvoukřídlé s roztečí 1600 mm. Širší dveře jsou voleny z důvodu většího počtu cestujících ve vozidle oproti jednopodlažní jednotce. Touto volbou docílíme přibližně stejné rychlosti výměny cestujících. Prostory pro nástup a výstup cestujících uvnitř vozidla jsou konstruovány na šířku 1800 mm,

aby zde byl dostatek místa pro cestující, kteří chtějí vystoupit a také, aby bylo usnadněno jejich míjení. V neposlední řadě je tento nástupní prostor zvětšen z důvodu umístění dveřní techniky. V blízkosti nástupního prostoru jsou vždy u pravých dveří (vyjma vozu hlavového č. 3) stojany pro umístění 4 jízdních kol nebo umístění kočárku spolu se sklopnými sedačkami, které vymezují pohyb kola umístěného na stojanu pomocí středové drážky, o které se opírá zadní část jízdního kola. Tyto nástupní a víceúčelové prostory mohou být od prostoru pro cestující odděleny stěnou nebo přepážkou z bezpečnostního skla (umožňuje cestujícím mít lepší přehled o odložených věcech).



Obr. č. 41: První patro vloženého vozu jednotky (zdroj: Autor)

Vozy jednotky jsou rozděleny do dvou oddílů, každý z nich vyplňuje jedno z podlaží. Výjimku tvoří vůz vložený, který je tvořen čtyřmi oddíly (dva oddíly tvoří jednotlivá podlaží, zbývající dva oddíly vyplňují prostor na obou koncích vozu v blízkosti schodiště). Tento fakt je zapříčiněn nemožností umístit jednotlivé části výzbroje vně vozidla vzhledem k velikosti a tvaru obrysu. Mezivozový přechod v hlavových vozech jednotky tak může působit jako stísněný prostor blízce připomínající moderní strojovnu lokomotivy.

První podlaží vozů je konstruováno jako nízkopodlažní. Cestující, kteří se rozhodnou cestu absolvovat v prvním podlaží, nemusejí překonávat žádné překážky v podobě schodiště. Naopak ti, kteří by rádi cestovali v druhém podlaží této jednotky, musejí vystoupat po schodišti do mezipatra a poté do druhého podlaží. V mezipatře se nachází tlakotěsný a zvukotěsný přechod mezi jednotlivými vozy soupravy. Schodiště a již zmíněné mezipatro se nachází nad úrovní podvozku. Tímto navrhovaným řešením bylo docíleno úplné vnější bezbariérovosti vozidla, která je pro nás velmi žádoucí z důvodu velké a rychlé výměny cestujících. Současně s docílením vnější bezbariérovosti vozidla se musíme smířit pouze s částečnou vnitřní bezbariérovostí. Sedadla určené pro přepravu osob se sníženou pohyblivostí jsou vymezeny v nízkopodlažním oddíle a to vždy 2 + 2 z každé strany. V hlavovém voze č. 3 je vymezena část středního prostoru pro přepravu osob na invalidním vozíku. V bezprostřední blízkosti míst pro invalidy je také umístěna univerzální toaleta dle norem TSI. Víceúčelový prostor může být také využit pro přepravu jízdních kol nebo pro rozšíření míst k sezení ve vozidle.

3.3 Srovnání variantního provedení jednotek

Obě řešení navrhovaných koncepcí, jsou určeny zejména pro příměstskou dopravu. Důvodem je jejich vzájemná porovnatelnost a možnost rozhodnout, která z uvedených koncepcí je výhodnější a za jakých podmínek. Obě uvedené jednotky jsou konstruovány se stejnou délkou vozů, mají stejný prostor na rozmístění výzbroje, víceúčelových prostorů a prostorů pro cestující. Uspořádání pohonu jednotek jsme určili jako $Bo' Bo' + 2' 2' + Bo' Bo'$. Tím docílíme poměrného počtu trakčních dvojkolí 75%. To je pro nás výhodné nejen po stránce ekonomické (díky rekuperaci energie), ale také po stránce dynamiky vozidla (častý rozjezd).

Vzhledem k výšce jednotlivých jednotek musela být u dvoupodlažního vozidla umístěna výzbroj uvnitř vozidla, což jej oproti jednopodlažnímu vozidlu značně znevýhodňuje, protože to má veškerou výzbroj rozmístěnu na střeše jednotlivých vozů jednotky. Také je pro vozidla navržen stejný počet toalet (univerzální dle TSI a dvě standardní). Rozdíl u navrhovaných jednotek je v napájecích systémech. Jednopodlažní jednotka je navržena jako vícesystémová (stejnoseměrná i střídavá trakce) pro snadnější operabilitu v rámci národní sítě. Dvoupodlažní jednotka je naproti tomu navržena pouze na systém stejnosměrný z důvodu umístění výzbroje do interiéru vozidla a nutnosti využití co největšího prostoru cestujícími. Je tedy nutné znát její plánované nasazení a využití po dobu celé její životnosti. Obě jednotky jsou vybaveny národním vlakovým zabezpečovačem Mirel s přípravou na pozdější zabudování evropského zabezpečovače ETCS a digitální radiostanice GSM-R. Jelikož je evropský zabezpečovač povinný až od roku 2030, bude možné strategicky vyčkat na dobu, kdy by z důvodu doplnění těchto zabezpečovačů do všech vozidel současně, mohla objednávka vykazat několika miliónovou slevu. (Aktuální cena palubní části ETCS je 10mil. Kč¹⁵ na vozidlo).

Pro kontrolu vozidla údržbou by také bylo možné umístit do vozidla vysílač dat, který bude pravidelně informovat PJ daného vozidla o jeho stavu a případných poruchách. Při překonání počtu stanovených poruch (např. porucha dvou toalet) či zjištění poruchy, kterou by bylo vhodné odstranit z provozních důvodů ihned, bude vozidlo přistaveno k údržbě a v provozu nahrazeno provozní zálohou.

¹⁵ Vyplývá z národního implementačního plánu ERTMS ministerstva dopravy ČR

Tabulka č. 4: Srovnání elektrických trakčních jednotek

Jednotlivé parametry vozidel	jednopodlažní jednotka	dvoupodlažní jednotka
Počet míst k sezení	256	316
Počet toalet ve vlaku	3	3
Zrychlení vlaku (m/s)	1,1	1,1
Maximální rychlost vozidla (km/h)	160	140
Hmotnost vozidla (t)	140	180
Průměrná hmotnost na nápravu (t)	11,6	15
Šířka vstupních dveří (mm)	1300	1600
Hmotnost na sedadlo (kg)	547	570
Poměrný počet trakčních dvojkolí (%)	75	75
Vnější bezbarierovost vozidla	ANO	ANO
Vnitřní bezbarierovost vozidla	ČÁSTEČNÁ	ČÁSTEČNÁ

4 Víceparametrické hodnocení návrhu trakční jednotky

4.1 Vzorový výpočet a volba metody víceparametrického hodnocení

Pro názornost zde bude provedeno víceparametrické hodnocení kritérií elektrické trakční jednotky pro zúžený výběr kritérií. Samotné hodnocení bude provedeno v SW nástroji, který byl za tímto účelem vytvořen.

Jako metoda pro stanovení vah jednotlivých kritérií byla zvolena metoda alokace 100 bodů. Tato metoda je pro nás přínosná v několika bodech:

- Jednoduchost metody
- Možnost výrazně rozdílných vah kritérií
- Váhy jsou již normovány (ihned je můžeme použít)
- Váhy kritérií můžeme chápat jako procentuální rozdělení (100b =100%)

Pro ukázkový výpočet použijeme zjednodušený soubor kritérií.

Tabulka č. 5: Zjednodušený soubor kritérií a stanovení vah

	Váhy kritérií	Váhy kritérií/100
Kapacita	70	0,7
Počet cestujících na 1 WC	30	0,3
Celkem	100 bodů	1

Nyní máme stanoveny váhy jednotlivých kritérií. Naším cílem je získat elektrickou trakční jednotku, která je nejvíce vhodná pro příměstskou dopravu. Uvažujeme, že počet cestujících je pro nás podstatně významnějším kritériem, než je počet toalet k poměru cestujících. Pokud bychom uvažovali s jednotkou vhodnou pro dálkový provoz, mohl by být význam kritérií opačný.

Nyní je nutné znát hodnoty jednotlivých kritérií pro určitý typ vozidla, proto si je stanovíme dle navržených koncepcí jednotek v předchozí kapitole. Trakční jednotky se liší především v rozdílné kapacitě.

Dalším kritériem je počet cestujících na 1 WC. Vyšší počet cestujících musí být rozdělen mezi stejný počet toalet, což nám při samotném hodnocení variantu dvoupodlažní jednotky znevýhodní.

Nyní je třeba stanovit vstupní hodnoty, se kterými budeme dále uvažovat.

Tabulka č. 6: Zjednodušený soubor vstupních hodnot

	Jednopodlažní jednotka	Dvoupodlažní jednotka
Kapacita	256	316
Počet cestujících na WC	85	105

Poté si stanovíme hodnotu dílčích užtků variantních provedení elektrických trakčních jednotek. Pro provedení výpočtů byla zvolena metoda bazické varianty. Ta nám umožní rozlišovat jak kritéria nákladového a výnosového typu, tak hodnotit i kvalitativní kritéria, která byla převedena na kvantitativní. Je třeba provést výpočet pro každé kritérium zvlášť. Při výpočtu prvního kritéria - kapacity vozidla - je třeba uvažovat, že čím bude hodnota tohoto kritéria větší, bude pro nás výhodnější, tedy lepší. Proto pro výpočet dílčího užitku tohoto kritéria použijeme vzorec pro výnosový typ kritéria.

Výpočet dílčího užitku kapacity vozidla

$$h_1^1 = \frac{x_1^1}{x_1^b} = \frac{256}{316} = 0,81$$

$$h_2^1 = \frac{x_1^2}{x_1^b} = \frac{316}{316} = 1$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že z pohledu kapacity je pro nás výhodnější jednotka j-té varianty č. 2. Výsledky výpočtu si můžeme ověřit z předcházející tabulky, kde je tento fakt zjevný, a proto nám u tohoto výpočtu může sloužit jako jeho ověření.

Obdobným způsobem musíme vypočíst hodnoty druhého kritéria. Toto kritérium je na rozdíl od kritéria kapacity vozidla, kritériem nákladovým. Tedy, že je pro nás výhodnější menší počet cestujících na jednu toaletu, čímž zajistíme vyšší komfort. Hodnota bazické varianty se nyní dosazuje ve vzorci na pozici čitatele.

Výpočet dílčího užitku počtu WC v poměru k cestujícím

$$h_1^2 = \frac{x_2^b}{x_2^1} = \frac{85}{85} = 1$$

$$h_2^2 = \frac{x_2^b}{x_2^1} = \frac{85}{105} = 0,81$$

Po uvedeném výpočtu jsme dosáhli výsledných hodnot, kde pro nás je výhodnější použití tentokrát j-té varianty č. 1. Při prozkoumání obou kritérií, tedy obsaditelnosti a počtu WC na cestujících, můžeme říci, že obě variantní provedení jednotek, zde mají svou „výhodu“. Abychom však mohli rozhodnout, která z elektrických jednotek je pro příměstskou dopravu nejvhodnější, je třeba výsledné užité hodnoty kritérií vynásobit hodnotami vah kritérií, které byly stanoveny v úvodu. Výpočet je proveden vzorově pro j-tou variantu č. 1 a to pro všechna kritéria. Postup výpočtu u j-té varianty č. 2 je analogický.

Výpočet užítu jednotlivých kritérií

$$V_1^1 \cdot h_1^1 = 0,7 \cdot 0,81 = 0,567$$

$$V_1^2 \cdot h_1^2 = 0,3 \cdot 1 = 0,3$$

Výsledné hodnoty jsou sestaveny do tabulky č. 7, kde jsou zobrazeny hodnoty užítu jednotlivých kritérií již ovlivněné váhami jednotlivých kritérií, které jsem si určil.

Tabulka č. 7: Hodnoty užítu jednotlivých kritérií

Kritéria	Jednopodlažní jednotka	Dvoupodlažní jednotka
Kapacita	0,567	0,7
Počet cestujících na WC	0,3	0,243
Hodnota užítu Σ	0,867	0,943

Z uvedených výsledků vyplývá, že je pro příměstskou dopravu vhodnější použít dvoupodlažní trakční jednotku. Vzhledem k uvedenému účelu provozu pro nás je výhodnější provozovat vlak větší. Jsme schopni pohodlně přepravit více cestujících bez ohledu na to, zda ve vlaku bude dostatečný počet toalet. Cestující cestují na kratší vzdálenosti a není tedy očekávána velká poptávka po potřebě toalety.

Tento výpočet slouží pouze jako vzor, který byl analogicky použit při tvorbě automatizovaného softwaru. Ten při zadání vstupních hodnot a vah kritérií určí nejvhodnější typ použitelné jednotky. Při výpočtu bude také použito více kritérií (včetně výše uvedených), které nám umožní lépe rozhodnout o volbě jednotky.

4.2 Návrh SW nástroje pro víceparametrické hodnocení

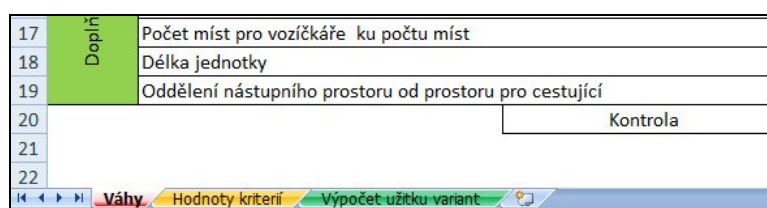
Cílem této práce je víceparametrické zhodnocení návrhu trakční jednotky. Záměrem je nejen vytvořit hodnocení, ale také umožnit jeho snadné opakování například při změně váhy kritérií, či změně varianty (typu elektrické trakční jednotky). Také je zde snaha co nejvíce snížit chybovost hodnocení (z pohledu matematických výpočtů) a vytvořit uživatelsky přívětivé prostředí. Pro tvorbu nástroje byl použit program Microsoft Excel 2007 (dále jen MS Excel 2007). Pomocí tohoto nástroje bude možné učinit výběr jak jednotky pro příměstskou dopravu, tak i dálkovou. Nástroj nám umožňuje výběr nejen trakční jednotky, ale také netrakční či pro kolejová vozidla klasických souprav (HV + vozy). Hlavní výhodou tohoto nástroje bude jeho jednoduchost a přehlednost. Nástroj umí pracovat i s minimem hodnot (respektive minimálně s jedním kritériem) a dovede i minimalizovat případnou chybu provedenou uživatelem.

Vstupní hodnoty

Vstupní hodnoty se dělí do dvou kategorií:

- Váhy kritérií
- Hodnoty kritérií

Každá z uvedených kategorií má v nástroji svůj list. Je třeba zmínit, že pokud nezadáme hodnoty do obou kategorií, program nemůže pracovat. Výsledkem budou nulové hodnoty.



17	Doplň	Počet míst pro vozičkáře ku počtu míst
18		Délka jednotky
19		Oddělení nástupního prostoru od prostoru pro cestující
20		Kontrola
21		
22		

Obr. č. 42: Listy nástroje (zdroj: Autor)

Nyní si jednotlivé listy vytvořeného nástroje projdeme. Zaměříme se na strukturu dat jednotlivých listů a jejich funkcionalitu ve vytvořeném nástroji.

List nástroje „Váhy“

Struktura dat

Tímto listem začíná uživatel při zadávání hodnot. Poprvé se zde setkává s kritérii, které mu pomohou s výběrem nové elektrické trakční jednotky. Zde se váhy kritérií počítají pomocí alokace 100 bodů. Uživatel nyní tedy musí rozdělit body tak, aby odpovídaly důležitosti jednotlivých kritérií, jak je uživatel vyžaduje. Výhoda, kterou program umožňuje, je vytvořit současně váhy kritérií a to pro regionální jednotku anebo jednotku dálkovou. V případě, že by uživatel vyplnil oba dva sloupce, tedy váhy kritérií pro vlaky regionální a dálkové, může při příštím použití tohoto programu postupovat až od listu „Hodnoty kritérií“ a váhami jednotek se dále nezabývat, pokud nebude nutná jejich změna nebo nové přerozdělení bodů z důvodu jiných preferencí. Uživatel zde může rozdělit body až mezi 18 různých kritérií. Počet kritérií, která je třeba pro hodnocení použít, aby nástroj korektně pracoval, je v rozmezí mezi 1-18 kritérií (aby program vyhodnocoval multikriteriální charakter úlohy je však nutné zadat alespoň dvě hodnoty kritérií).

Funkcionalita listu

Na listu nástroje váhy je uživatel kontrolován pomocí textové a také barevné indikace, zda rozdělit potřebný počet bodů (100b) mezi jednotlivá kritéria. Pokud toto rozložení bodů uživatel nesplní, zobrazí se červená indikace, že součet bodů nesouhlasí, jak můžeme vidět na obrázku č. 43.

	6	6
		1
stující		8
Kontrola	97	100
	Součet nesouhlasí	OK

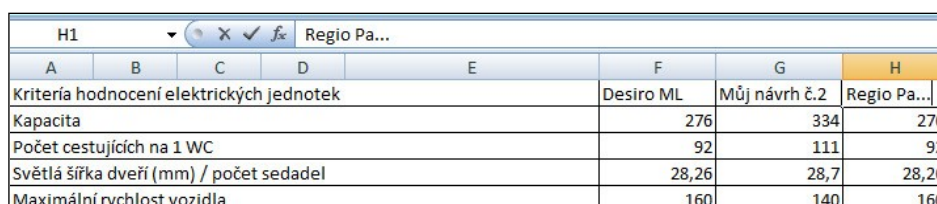
Obr. č. 43: Indikace součtu vah (zdroj: Autor)

I při nedodržení rozvržení alokace 100 bodů však není potřeba uživateli zamezit v práci s nástrojem. Ve chvíli, kdy je zjištěna přítomná hodnota jiná, než rovna 100, program automaticky váhy kritérií přepočítá jako nenormované váhy (viz kapitola č. 2). I v této chvíli je možné pokračovat na list č. 2 s hodnotami vah kritérií bez ovlivnění výsledku.

List nástroje „Hodnoty kritérií“

Struktura dat

Po stanovení vah jednotlivých kritérií je třeba zapsat do nástroje také hodnoty jednotlivých kritérií variant. Opět se setkáváme s osmnácti stejnými kritérii jako na listu č. 1 - váhy kritérií. Do příslušných buněk vkládáme hodnoty získané od výrobce kolejového vozidla, ať už se jedná o návrh vozidla podle našich potřeb, či vozidel již existujících. Aby porovnání kolejových vozidel mělo smysl, je třeba použít 2-5 variant provedení. V případě, že máme k porovnání více než pět typů vozidel, je třeba toto hodnocení rozdělit na polovinu. Výsledek určíme až třetím porovnáním jednotek, kde budou porovnávány kolejová vozidla s největší hodnotou užitku. V případě, že hodnoty některých kritérií neznáme a nejsme schopni je vypočítat (ať už u všech železničních vozidel či jen jednoho), buňku můžeme nechat prázdnou nebo do ní zapsat hodnotu nula (resp. i při zanechání prázdné buňky ji MS Excel bude považovat za buňku s nulovou hodnotou). Při použití tohoto nástroje je také vhodné si jednotlivé varianty kolejových vozidel pojmenovat a to buď podle názvů udávaných výrobcem, nebo našeho označení, abychom stále měli přehled, mezi kterými kolejovými vozidly se rozhodujeme. Jak snadné je přepsání buňky s názvem jednotky je patrné z obrázku č. 44. Je důležité také zmínit, že pojmenováním jednotlivých variant se navrhnutý nástroj stává ještě o něco přehlednějším a snadnějším, jelikož s názvy vozidel uvažuje také na listu č. 3.



A	B	C	D	E	F	G	H
Kriteria hodnocení elektrických jednotek					Desiro ML	Můj návrh č.2	Regio Pa...
Kapacita					276	334	276
Počet cestujících na 1 WC					92	111	92
Světlá šířka dveří (mm) / počet sedadel					28,26	28,7	28,26
Maximální rychlost vozidla					160	140	160

Obr. č. 44: Jednotlivé názvy variant (zdroj: Autor)

Funkcionalita

Po vyplnění hodnot kritérií variant v tomto listu se nástroj automaticky připraví k provedení výpočtu. Hodnotiteli je v průběhu zadávání jednotlivých kritérií sděleno, zda daná varianta je již v hodnocení a bude pro ni proveden výpočet, nebo zda se aktuální varianta v hodnocení nenachází (nehodnotí se). Současně je hodnotitel informován, zda má smysl dané varianty porovnávat či nikoliv. Aby výpočet mohl být proveden, je třeba mít v hodnocení variant alespoň dvě odlišné varianty. V případě, že hodnotitel tuto skutečnost

nedodrží, je informován červenou výstrahou, že hodnocení pozbývá smyslu a je třeba doplnit další varianty před provedením samotného výpočtu.

	2				
	1				
plošin)	6				
	0,036				
	0,018				
úplně)					
	V hodnocení	Nehodnotí se	Nehodnotí se	Nehodnotí se	Nehodnotí se
	Není uveden dostatečný počet variant				

Obr. č. 45: Vizuální indikace variant v hodnocení (zdroj: Autor)

Soubor kritérií, který byl pro tuto práci sestaven, se skládá z kritérií kvantitativních a kvalitativních. Kritéria kvantitativní jsou zadávána čísly. Kritéria kvalitativní je tedy nutné zadávat obdobným způsobem, abychom je mohli použít ve výpočtu programu. Bylo tedy nutné „slovní“ ohodnocení kritéria převést na číselné hodnoty. Příkladem zde může být bezbarierovost vozidla (vnější, vnitřní), která může být buďto žádná, částečná nebo úplná. Jednotlivým slovním popisům byla přiřazena analogická číselná vyjádření:

- Žádná = 0
- Částečná = 0,5
- Úplná = 1

Tímto způsobem může uživatel vyjádřit například vnější bezbarierovost vozidla číselnou hodnotou 1. Aby si však tyto hodnoty nemusel pamatovat, je uživateli umožněno kvalitativní kritéria hodnotit pomocí rozbalovacího seznamu, odkud pouze hodnotu vybere (jak můžeme vidět na obrázku č. 46).

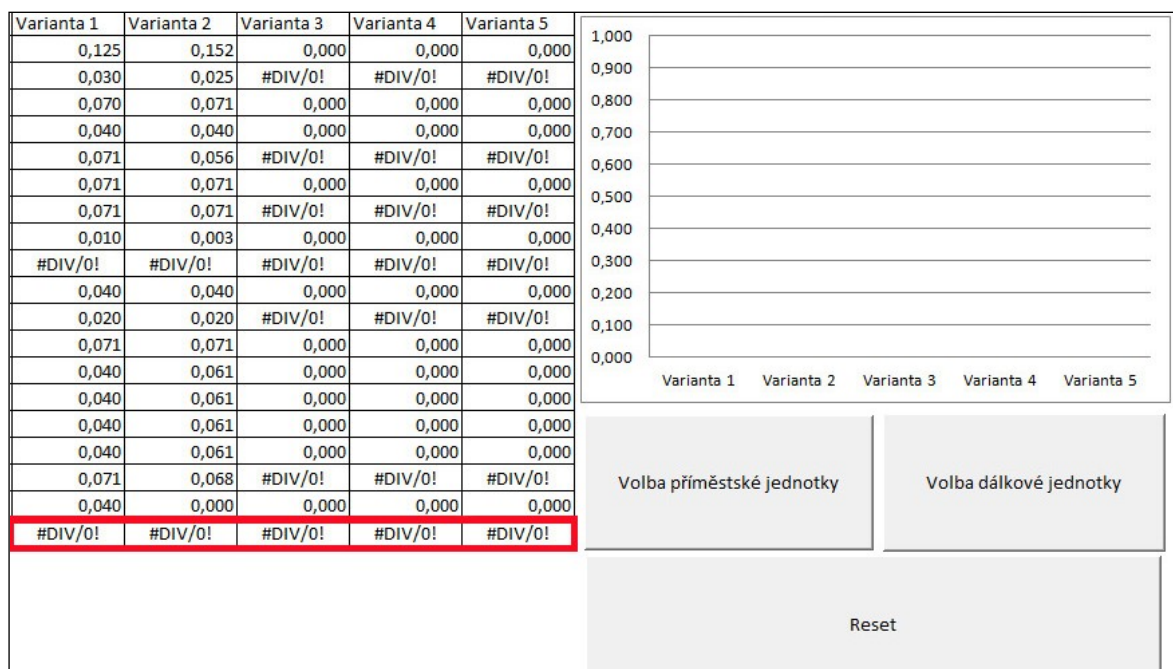
Kapacita	276	334
Počet cestujících na 1 WC	92	111
Světlá šířka dveří (mm) / počet sedadel	28,26	28,7
Maximální rychlost vozidla	160	140
Průměrná hmotnost na nápravu (t)	11	14
Dynamické vlastnosti (kW/t) nebo Maximální zrychlení (m/s)	1,1	1,1
Hmotnost na sedadlo (kg)	478	479
Poměrný počet trakčních dvojkolí (%)	75	75
Vnitřní bezbarierovost (žádná - částečná - úplná)	0,5	0,5
Vnější bezbarierovost (žádná - částečná - úplná)	1	1
Počet míst 1. třídy	0 0,5	
Použitelné napájecí systémy	1	2
Zásuvky 230V / Wifi	1	1
Počet bezbariérových vstupů do vozidla z jedné strany (včetně plošin)	6	6
Počet míst pro kočárky a jízdní kola ku počtu míst	0,036	0,029
Počet míst pro vozíčkáře ku počtu míst	0,018	0,0145

Obr. č. 46: Zadávání hodnot kvalitativních kritérií (zdroj: Autor)

V případě, že by se uživatel pokusil zapsat do buněk kvalitativních kritérií jinou hodnotu, než jsou hodnoty předem stanovené, pak ho nástroj informuje o chybě a možnostech řešení této chyby. Hodnotu mimo stanovený rozsah mu nástroj do buňky nedovolí zapsat.

Odstranění chyby při neznámých či nulových hodnotách

Chyba, která při tvorbě tohoto programu vznikla, je v oblasti porovnání kritérií, která máme od dodavatele železničního vozidla. Může nastat situace, kdy hodnoty daného kritéria nejsou k dispozici, či pro nás nejsou důležitými. Případně může nastat situace, kdy místo výběru z pěti železničních vozidel budeme mít na výběr pouze dvě nebo tři. V takovémto případě bychom mohli nechat místo pro kritéria prázdné nebo do přidělených buněk napsat číslici nula. Program ovšem s tím, že se v dané buňce bude nacházet hodnota rovna nule, nepočítá a vykáže nám při výpočtu chybu pod označením #DIV/0!. Tuto chybu můžeme do češtiny přeložit jako informaci, že nelze dělit nulou (výpočet se zde provádí podle vzorců bazické metody ohodnocení variant, viz kapitola č. 2). Program ale neumí chybu ignorovat, proto nám ve výpočtu místo výsledků vypíše pouze toto hlášení, jak můžeme vidět na obrázku č. 47. Místo pro výsledné hodnoty je zobrazeno červenou barvou.



Obr. č. 47: Chyba v programu – nelze dělit nulou (zdroj: Autor)

Vytvoření této chyby však můžeme zabránit v případě, že využijeme logické funkce KDYŽ. Ta nám umožní vytvořit podmínku, že v případě nebude – li hodnota kritéria zadána, nebude s ní program nadále vůbec pracovat. Nyní si rozebereme zápis logické funkce:

- =KDYŽ (Podmínka; ANO; NE)

Stanovení podmínky

Stanovení podmínky je jen jedna hodnota a to číslo nula, s ostatními čísly program již dále umí pracovat. Proto je třeba podmínku zapsat v následujícím tvaru – F10 = 0. Tento zápis nám říká, že pokud má buňka pod označením F10 hodnotu nula, pak může vykonat příkaz stanovený v podmínce „ KDYŽ ANO“.

Stanovení podmínky „KDYŽ ANO“

Tato podmínka nám stanovuje co má daný příkaz KDYŽ vykonat, je-li hodnota buňky rovna hlavní stanovené podmínce. Pokud tedy obsah vybrané buňky je roven nule, tak je místo výpočtu provedena změna obsahu buňky na číselnou hodnotu nula (tímto zadáním zabráníme, aby se Excel pokoušel provést výpočet a dělit nulou).

Stanovení podmínky „KDYŽ NE“

V případě, že není splněna hlavní podmínka, že se daná buňka rovná nule, je třeba provést výpočet dle daných vzorců pro ohodnocení variant bazickou metodou, dle kritéria buď nákladového či výnosového typu.

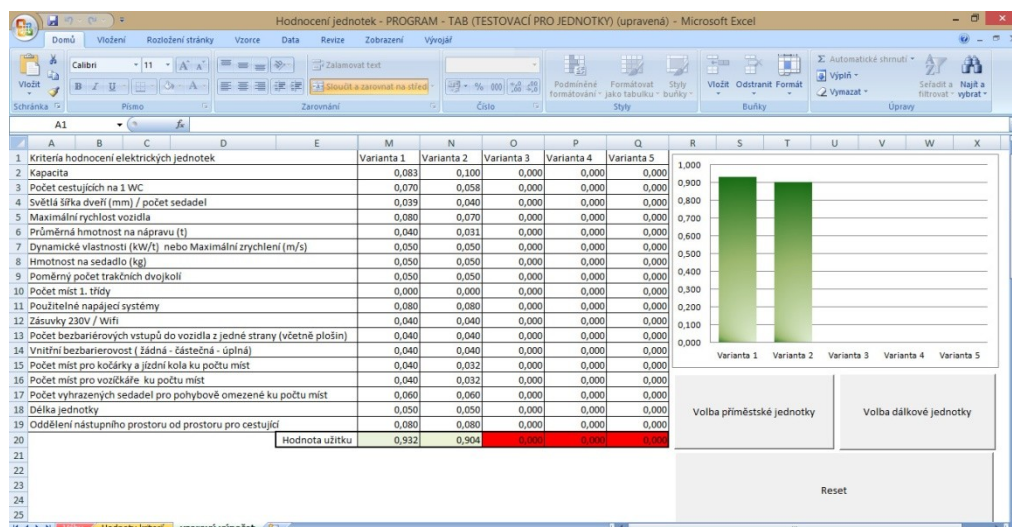
Výsledný zápis logické funkce KDYŽ je po zápisu všech podmínek vytvořen následovně:

- =KDYŽ (F10=0;0;F10/(MAX (\$F10:\$J10))) – pro výnosový typ kritéria
- =KDYŽ (F10=0;0;(MIN (\$F10:\$J10))/F10)) – pro nákladový typ kritéria

Tento zápis je třeba aplikovat na všechny buňky určené pro ohodnocení jednotlivých variant, aby nedošlo k chybě v žádném z vybraných kritérií. Je také třeba podotknout, že zápis je třeba provést tak, aby v něm byl správný počet závorek, jinak bychom se opět dostali k chybě #DIV/0!, kterou jsme se touto úpravou snažili odstranit.

Program nyní může pracovat bezchybně i v případě, že neznáme některá z kritérií. Kritéria, která nejsou vyplněna (včetně variant) jsou ve výsledkové tabulce nyní označena

číselnou hodnotou nula, jak můžeme vidět na obrázku č. 48. Program s hodnotami buněk nula nyní neuvažuje jak ve výpočtu (hodnotě užitku), tak i ve vykresleném grafu.



Obr. č. 48: Obnovení funkčnosti programu (zdroj: Autor)

List nástroje „Výpočet“

Struktura dat

Součástí tohoto listu nejsou již žádná data, která by hodnotitel mohl upravovat či zadávat. Tento list slouží pouze jako funkční (viz funkcionálita dat).

Funkcionálita dat

Zde již uživatel nástroje nemá možnost žádných úprav, jen volbu výpočtu podle toho, zda chce znát hodnotu užitku jednotek příměstských či dálkových. Tento list je provázán s listem č. 1 „Váhy kritérií“ a s listem č. 2 „Hodnoty kritérií“ odkud přejímá nejen hodnoty pro výpočet užitku jednotlivých jednotek, ale také jejich názvy, které nám výpočet značně zpřehlední (pokud je uživatel zadal). Důležité je si uvést jednotlivé ovládací prvky a grafické znázornění výsledných hodnot.

Volba příměstské jednotky

Volba dálkové jednotky

Reset

Obr. č. 49: Ovládací prvky listu Výpočet (zdroj: Autor)

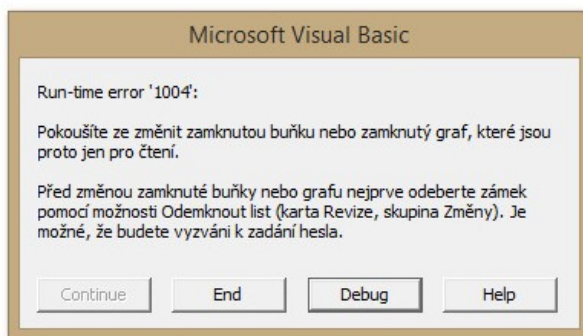
Jsou zde umístěna tři tlačítka:

- Volba příměstské jednotky
- Volba dálkové jednotky
- Reset

Tato tlačítka nám umožňují vypočítat hodnotu užitku při volbě dvou odlišných typů železničních vozidel dle jejich účelu použití. Výpočet se provede pouze, pokud kromě hodnot variant na listu č. 2 jsou vyplněny také příslušné sloupce vah kritérií na listu č. 1. Tlačítko „Reset“ slouží zejména pro přehlednost, abychom před novým výpočtem mohli již vypočtené hodnoty zrušit. To nám umožní přehled o tom, zda program stále pracuje a nedošlo k jeho případnému tzv. „zamrznutí“, či abychom se nesnažili výsledky ovlivnit změnou případných parametrů. Pro výpočet však použití tlačítka „Reset“ není nezbytně nutné, hodnoty se ve sloupcích přepíší i bez jeho použití. Výsledné hodnoty užitku variant se zobrazí v řádku celkových výsledků, zde jsou pomocí barevné škály odlišeny hodnoty zelenou barvou jako hodnoty nejvíce vhodné a červenou barvou se nám označí hodnoty variant, které jsou pro nás nejméně vhodnými, a není vhodné je tedy realizovat. Aby se vypočtené výsledky ještě více zpřehlednily, je nad ovládacími prvky umístěn sloupcový graf, aby výsledné hodnoty užitku variant byly znázorněny také grafickou metodou. Čím víc se hodnota užitku variant blíží jedné, tím je pro nás daná varianta výhodnější a naopak.

Vyřešení chyby run-time error 1004

V předcházejících bodech této kapitoly jsme se zabývali funkcí navrženého programu. Proto, aby hodnotitel nemohl zasahovat do vzorců, ale ani upravovat pole, která pro něj nejsou podstatná, bylo nutné tento vytvořený program uzamknout proti úpravám. To ale způsobilo, že program přestal pracovat korektně a informoval o chybě s označením error 1004, jak můžete vidět na obrázku č. 50.



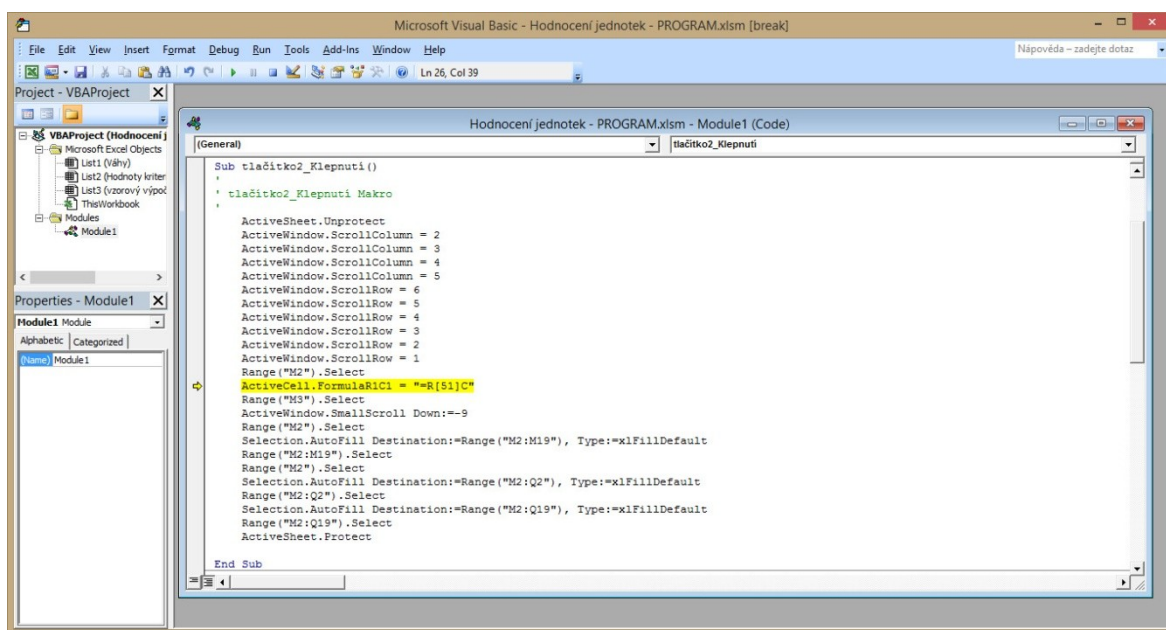
Obr. č. 50: Chybové hlášení run-time error 1004 (zdroj: Autor)

Tato chyba byla způsobena tím, že po uzamčení programu naprogramovaná makra (tedy činnosti) tlačítek nemohla vykonat výpočet a jeho zápis do stanovených buněk. Chyba se dá opravit pouze ručním zápisem do naprogramovaného makra. Zápis je třeba opravit u všech maker zasahujících do tohoto programu. Pro ukázkou zde uvedeme opravu pouze jednoho makra - tlačítka2.

Použité příkazy pro opravu:

- ActiveSheet.Unprotect (Volně přeloženo: Odemkni aktivní list)
- ActiveSheet.Protect (Volně přeloženo: Uzamkni aktivní list)

Tyto příkazy byly zapsány do příslušného makra v pořadí, kde příkaz „odemkni“ je umístěn na začátek záznamu a příkaz „uzamkni“ je umístěn až na jeho konec, tak jak můžeme vidět na obrázku č. 51. Zde je také vidět první příkaz, který nemohl být proveden z důvodu chyby error 1004 (zvýrazněn žlutě).



Obr. č. 51: Chybný řádek zápisu programu ve Visual Basic (zdroj: Autor)

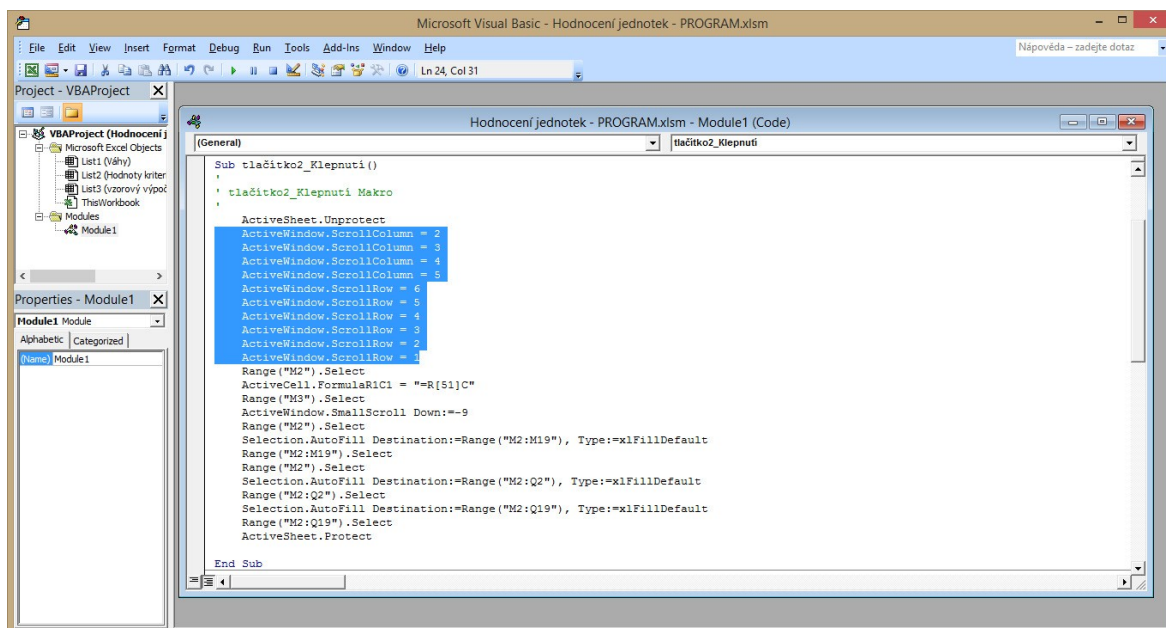
Úprava zdrojového kódu ve Visual Basic

Nyní nám již program pracuje korektně. Přesto je jej třeba ještě upravit, aby uživatel neměl sebemenší problém s jeho používáním.

Věnovat se budeme těmto dvěma chybám:

- Pohyb obrazu při výpočtu
- Posunutí obrazu po dokončení výpočtu

První z chyb vznikla ne zcela korektním záznamem makra, kdy se pomocí „scrollování“ měnila pozice listu na pracovní obrazovce počítače. Tato chyba se projeví při použití tlačítka jako „skákájící“ obraz, který může hodnotiteli připadat nepříjemný. Tento pohyb je zaznamenán příkazem zapsaným ve tvaru `ActiveWindow.ScrollColumn` (posun sloupců v aktivním listu) a také příkazem `ActiveWindow.ScrollRow` (posun řádků v aktivním listu). Tuto chybu odstraníme velmi snadno tak, že označíme tyto řádky v zápisu, jak můžete vidět na obrázku č. 52 a ze zápisu je smažeme.



Obr. č. 52: Postup pro odstranění chyby pohybu obrazu (zdroj: Autor)

Druhou chybou je posunutí obrazu, které se projeví po dokončení výpočtů určených pro dané tlačítko. Dá se říci, že tento jev je spíše „kosmetickou“ chybou a na běh programu nemá vliv. Ovšem opět je nutné, aby z pohledu uživatele bylo použití programu „user friendly“ - tedy uživatelsky přívětivé, a ani k takovým chybám nedocházelo. Tuto chybu odstraníme přepsáním posledního řádku naprogramované funkce. Příkaz se v programu nazývá `Range(„M2:Q19“).Select` (vyber buňku pod označením „M2:Q19“, kde „M2:Q19“ je označení místa, kde program svou naprogramovanou funkci po vykonání ukončí. V našem případě bude nejlépe zvolit jako místo konce buňku A1, tedy levý horní roh obrazovky. Ta nám bude sloužit jako centrovací bod našeho programu. Stejného efektu bychom dosáhli také po zápisu dalšího řádku jako posledního s příkazem `Range(„A1“).Select`.

Je také třeba zmínit, že je-li program uzamčen proti úpravám, musí být vždy úplně posledním příkazem příkaz `ActiveSheet.Protect`, tedy příkaz „uzamkni aktivní list“.

Pokud bychom tuto nutnou podmínku nezachovali, mohlo by opět dojít k vyvolání předešlé chyby error 1004, což by bylo nežádoucí.

Validace SW nástroje

Ověření správné funkčnosti nástroje bylo prováděno v jednotlivých krocích tvorby. Vypočtené hodnoty se vždy pohybovaly v rozmezí 0 – 1, což je správně. Výsledné hodnoty přesahující hodnotu jedna by byly známkou závažné chyby. Výpočet byl ověřen také porovnáním hodnot již existujících jednotek pro dálkovou a příměstskou dopravu. V průběhu validace bylo odstraněno několik chyb způsobených nepřesnostmi v programování, a také vytvořena uživatelská ochrana proti chybám způsobených uživatelem (viz níže).

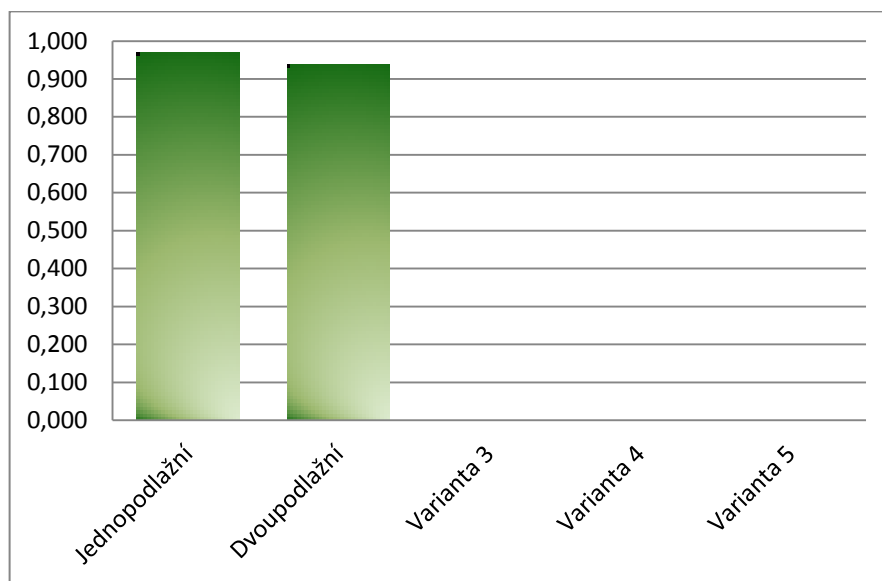
4.3 Víceparametrické hodnocení navržených koncepcí jednotek

Kritéria, která jsme si stanovili v kapitole č. 2, byly zavedeny do nástroje pro výpočet užítku jednotlivých variant. Bylo nutné také zadat hodnoty kritérií jednotlivých variant navržených koncepcí. Pro příměstskou jednotku byla jako nejdůležitější volena kritéria obsaditelnosti, výměny cestujících, hmotnost, vnější bezbariérovost. Důležitými byly také hodnoty dynamických vlastností vozidla. Navržené bodové ohodnocení jednotlivých kritérií můžeme vidět na obrázku č. 53. Z hodnocení jsme vyřadili kritéria počtu míst první třídy, délky jednotky a oddělení nástupního prostoru od prostoru cestujících. Tyto údaje pro nás v tuto chvíli nejsou relevantní.

	Kritéria hodnocení elektrických jednotek	Váhy pro příměstskou jednotku
Rozhodující kritéria	Kapacita	17
	Počet cestujících na 1 WC	3
	Světlná šířka dveří (mm) / počet sedadel - Parametr výměny cestujících	10
	Maximální rychlost vozidla (km/h)	7
	Průměrná hmotnost na nápravu (t)	7
	Dynamické vlastnosti (kW/t) nebo Maximální zrychlení (m/s)	7
	Hmotnost na sedadlo (kg)	8
	Poměrný počet trakčních dvojkolí (%)	8
	Vnitřní bezbariérovost (žádná - částečná - úplná)	3
	Vnější bezbariérovost (žádná - částečná - úplná)	8
Doplňková kritéria	Počet míst 1. třídy	
	Použitelné napájecí systémy	2
	Zásuvky 230V / Wi-Fi	2
	Počet bezbariérových vstupů do vozidla z jedné strany (včetně plošin)	6
	Počet míst pro kočárky a jízdní kola ku počtu míst	6
	Počet míst pro vozíčkáře ku počtu míst	6
	Délka jednotky	
	Oddělení nástupního prostoru od prostoru pro cestující	
	Kontrola	100
		OK

Obr. č. 53: Navržené váhy kritérií pro hodnocení příměstské jednotky (zdroj: Autor)

Po provedení výpočtu užitku jednotlivých variant je výsledek následující (viz obrázek č. 54):



Obr. č. 54: Výsledné hodnoty užitku navržených jednotek (zdroj: Autor)

Z tohoto výsledku vyplývá, že je pro nás vhodnější provozovat vozidlo jednopodlažní. Výhodou použití tohoto vozidla bude nižší hmotnost, spotřeba energie a snadnější údržba. V případě, že bychom potřebovali vozidlo s větší obsaditelností z důvodu velkých přepravních potřeb, mohli bychom v denní špičce dvě jednotky sepřáhnout do jedné. Nebo pokud by přepravní potřeby byly konstantě vyšší použít vícevozovou jednotku (4-5 vozů). Tento fakt bychom měli posléze ověřit v navrhovaném nástroji hodnocení.

5 Závěr

Z výsledků této práce vyplývá, že je pro použití v příměstské dopravě vhodnější jednotka jednopodlažní. Umožní nám jak větší variabilitu při nasazení na jednotlivé vozby (možnost provozu ve dvou systémech napájení), tak úsporu energií a v neposlední řadě také dostatečné pohodlí cestujících. Další výhodou jednopodlažní jednotky je také modularita, která nám umožní snadnou změnu části vozu na první vozovou třídu nebo na elektrickou trakční jednotku pro dálkové vlaky. Nasazení dvoupodlažní jednotky by bylo vhodné za předpokladu, že máme omezenou délku nástupiště a chceme tedy docílit co největší obsaditelnosti v co nejkratším vlaku. Tato problematika byla také zanesena do navrženého softwarového nástroje pro případ potřeby. Ovšem v případě, kdy jsou naše nástupiště dostatečně dlouhá, není nezbytně nutné nasazení dvoupodlažních jednotek, které umožňují zvýšit obsaditelnost o pouhých 20% (což bylo ověřeno výpočtem). I když výsledné hodnoty představují velmi malý rozdíl užitku (3%), doporučuji z výše uvedených důvodů k realizaci variantu jednopodlažní jednotky.

6 Seznam literatury

- [1] Series M250 Super Rail – Cargo New [online]. [cit. 2015-05-05]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: http://www.newhallstation.com/images-lib/kato_n_scale/KA-10-565/page02.php
- [2] SAFT'S PROVEN TRACK RECORD FOR RELIABILITY AND LONG LIFE KEEPS THE EUROTUNNEL GROUP ONBOARD FOR ITS REPLACEMENT SHUTTLE BATTERIES [online]. [cit. 2015-05-05]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.saftbatteries.com/press/press-releases/saft%E2%80%99s-proven-track-record-reliability-and-long-life-keeps-eurotunnel-group>
- [3] Pess Pictures – Siemens.com [online]. [cit. 2015-05-05]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.siemens.com/press/en/presspicture/index.php>
- [4] Book Thalys or ICE train tickets to Aachen [online]. [cit. 2015-05-05]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <https://www.b-europe.com/Travel/Destinations/Aachen>
- [5] ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě I*, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2004, 121s. ISBN 80-248-0536-7
- [6] Řazení vlaků 2014/2015 [online]. [cit. 2015-05-05]. Obrázek ve formátu GIF. Dostupné z: <http://www.vagonweb.cz/razeni/>
- [7] ŠIROKÝ, J., J. MULLER, S. ZAPLETAL. *Stavba železničních kolejových vozidel*. [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: http://issuu.com/michdor/docs/m10_text?e=7481937/1650042
- [8] SIEMENS. Trakční mechanika 2 [prezentace]. [cit. 2015-05-05].
- [9] Cena za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/prohlaseni-o-draze/2015/priloha-c-2015.pdf>
- [10] ČSN EN 15227. *Železniční aplikace – Požadavky na odolnost skříní železničních vozidel proti nárazu*. Brussels: European committee for standardization, 2005.
- [11] MALKOVSKÝ, Zdeněk. *Současný stav pasivní bezpečnosti kolejových vozidel a trendy do budoucna*, Ostrava: Czech Raildays, 2008, [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.railvolution.net/czechraildays/2008/seminare/kv_02.pdf
- [12] Prezentacja 223M. Bezpieczeństwo Kategoria wytrzymałościowa pojazdu [online]. [cit. 2015-05-17]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://slideplayer.pl/slide/61079/>

- [13] Na české koleje přijela první souprava Railjet [online]. [cit. 2015-04-05]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/na-ceske-koleje-prijela-prvni-souprava-railjet-1080329/galerie?gallery-item=14>
- [14] ZAPLETAL, Stanislav. Stavba dráhových vozidel Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2014,[přednáška]
- [15] Dnes poprvé o kousek popojede nový český vlak ze Škodovky [online]. [cit. 2015-03-27]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/sledovali-jsme-zrod-noveho-pantografu-z-plzne-regiopanter-je-hotovy-1jp-/tec_reportaze.aspx?c=A110711_103602_tec_reportaze_rja
- [16] 2011/291/EU. *Technická specifikace pro interoperabilitu subsystému kolejový vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob transevropského konvečního železničního systému*. Brussels: Úřední věstník Evropské unie, 2011.
- [17] SIEMENS. Trakční mechanika 1 [prezentace]. [cit. 2015-04-04].
- [18] POHL, Jiří. Elektrické jednotky počtvrté. Železniční magazín, 2012, roč. 19, č. 5, s. 44-48. ISSN 1212-1851
- [19] OBRAZEM: Nový pantograf mučili mrazem krutějším než zima [online]. [cit. 2015-03-27]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_reportaze&c=A120122_220409_tec_reportaze_rja&foto=RJA40af51_DSC01651.jpg
- [20] Šeuer, A., J. Pohl. Konstrukce moderních kolejových vozidel. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2014,[přednáška]
- [21] POHL, Jiří. Elektrické jednotky podesáté. Železniční magazín, 2013, roč. 20, č. 4, s. 26-29. ISSN 1212-1851
- [22] VINCIK, Otomar. Elektrické jednotky podesáté. Železniční magazín, 2013, roč. 20, č. 4, s. 28. ISSN 1212-1851
- [23] DANĚK, Jan. Technologie železniční dopravy. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2011,[přednáška]

- [24] Obrys vozidel a průjezdný průřez [online]. [cit. 2015-04-20]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.trminek.cz/view.php?navezclanku=obrys-vozidel-a-prujezdny-prurez&cislocclanku=2004080003>
- [25] KOLÁŘ, Josef. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 276 s. ISBN 978-80-01-04262-5.
- [26] BĚHAL, Martin. Design regionální vlakové jednotky [online]. [cit. 2015-04-25]. Obrázek ve formátu PDF. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/dipl_2006/beh2006.pdf
- [27] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla II*. Vyd. 1. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009, 391 s. ISBN 978-80-7043-641-7.
- [28] OLIVKOVÁ, Ivana. *Ekonomika v dopravě II*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2014.[přednáška]
- [29] FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010, 474 s. ISBN 978-80-86929-59-0.
- [30] Technické parametry sedadla REGIO [online]. [cit. 2015-05-07]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.borcad.cz/vlakove-sedadlo-regio-technicke-parametry/>
- [31] City Elefant vjel před nehodou na výhybku rychlostí 108 km/h, mohl jen 50 [online]. [cit. 2015-05-11]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/krimi/204603-city-elefant-vjel-pred-nehodou-na-vyhybku-rychlosti-108-km-h-mohl-jen-50.html>